

المجلد 22 - العددان 2/1

يناير/ فبراير 2006

SCIENTIFIC
AMERICAN

January/ February 2006

مجلة العلوم

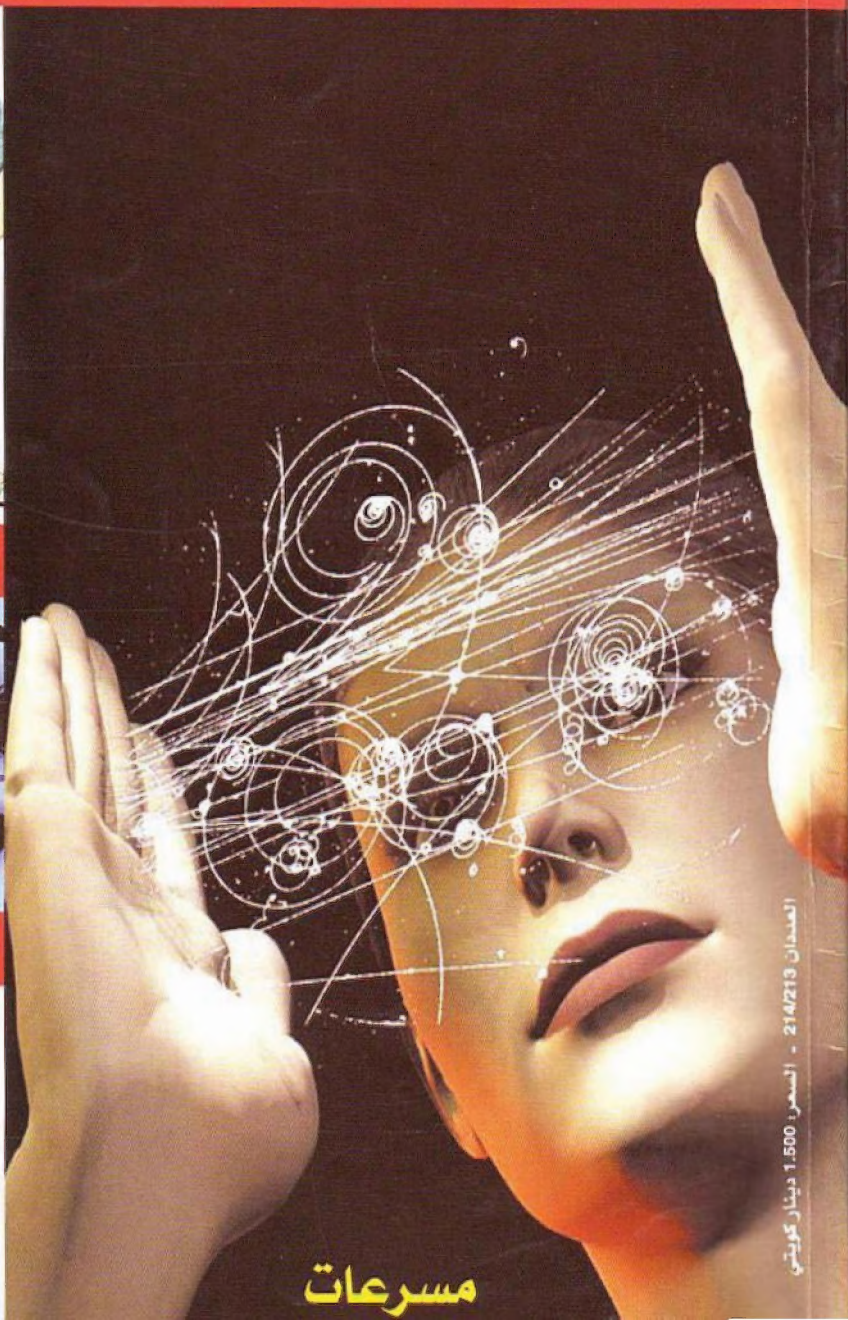
الترجمة العربية في مجلة ساينتفك أمريكان
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي



تقانة Wi-Fi الذكية



الذكاء الوجداني



مسرعات

العددان 214/213 - السعر: 1.500 دينار كويتي

ترجمة في مراجعة

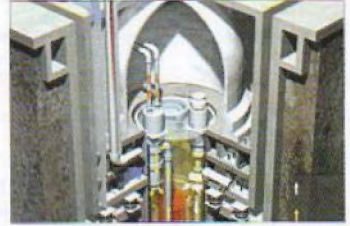
الفعالات

استخدام أذكي للنفايات النووية

حازم سومانى - أحمد فؤاد باشا

<H.W> مانوم - <E.G> مارش - <S.G> ستانفورد

تستطيع مفاعلات النيوترونات السريعة استخلاص المزيد من طاقة الوقود النووي للمعاد تدويره، والحد من خطورة انتشار الأسلحة النووية، وكذلك اختصار الزمن اللازم لعزل النفايات النووية.



4

تقانة Wi-Fi الذكية

غسان قلوب - فاروق بدرخان

<A> ميلز

أصبح النفاذ اللاسلكي إلى الإنترنت عن طريق التقانة Wi-Fi أكثر شيوعاً، ولهذا جرى الارتقاء بهذه التقانة كي يتسنى للمستخدمين الحصول على خدمة سريعة وموثوقة.



12

البيولوجيا العصبية للذات

زياد القطب - رياض الحلوجي

<C> زيسر

كيف يقود نشاط الدماغ إلى حس ثابت بوحدة الذات لدى صاحبه؟ سؤال يحاول البيولوجيون الإجابة عنه.



20

محركات تعرف دقوق البيانات الحاسوبية

عمر البزري - عدنان الحمري

<G> ستكنس

تصاميم حاسوبية جديدة تعالج بكفاءة أكثر دقوق البيانات من أجل الكشف عن الفيروسات الحاسوبية والسهامات (الإعلانات والرسائل المضممة على الإنترنت).



26

الألف طريقة وطريقة لقابلية المكاملة

أبو بكر سعدالله -

<D> برنارد - <P> دي فرانسكو

إن المسائل الفيزيائية التي يمكننا حلها حلاً دقيقاً - والتي نسميها مسائل قابلة للمكاملة أو قابلة للحل - هي مسائل نادرة. وقد استطاع الفيزيائيون الربط بين ظواهر مختلفة بتحويل مسائل معقدة إلى مسائل يمكن حلها، وذلك بفضل الاستفادة من تناظرات خفية.



30

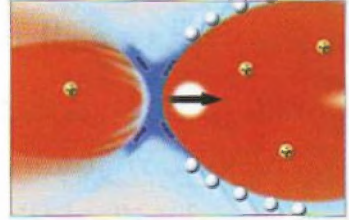
مجلة العلوم، تصدر شهرياً في الكويت منذ عام 1986 عن مؤسسة الكويت للتقدم العلمي، وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت. وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والتحصلي في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. ومجلة العلوم، هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ «ساينتيфик أمريكان» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتحتوي هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تسكن القاري، غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقنية. وتوفر معرفة شاملة للتدري، التخصص حول موضوع تخصصه، تصدر «ساينتيфик أمريكان» بثمانى عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للواد العلمية المتقدمة ويستخدمها القيم للتصور والرسوم الطولية والحدود.

مسرعات بلازمية

<Ch>، جوشي>

بسام المعصراني - حاتم النجدي

نوع جديد من المسرعات الجسيمية الملمة إلى حد إمكان وضعها على طاولة، سوف يخترل حجوم المصادمات وتكلفتها، ويطلق عددا كبيرا من تطبيقات الطاقة المنخفضة.



38

الذكاء الوجداني

<D>، كريوال> - <P>، سالوبي>

عزت قرني - فهمي جدعان

إن الذكاء ليس مجرد «نسبة ذكاء» (IQ) المرء، إذ إنه يقوم أيضا على ملكة إدراك الحالات الوجدانية لديه ولدى الآخرين وتقديرها، وعلى معرفة كيفية التعبير عن هذه الحالات الوجدانية وإدارتها.



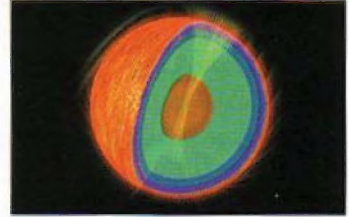
44

المكتنارات: نجوم فائقة المغنطيسية

<Ch>، كولليوتو> - <C.R>، دانكن> - <Ch>، طويسن>

علاء إبراهيم - خضر الأحمد

بعض النجوم فائقة المغنطيسية لدرجة أنها تُصدر دقات هائلة من الطاقة المغنطيسية، وتغير الطبيعة الكونية للخلاء.



52

داخل دماغ إنسان ذاكرته خارقة

<A.D>، ترفيرت> - <D.D>، كريستسن>

زياد القلب - عدنان الحموي

إن الغرائب التشريحية في دماغ «حكيم بيك» ذي الذاكرة الخارقة، والذي كان ملهم فيلم رجل المطر Rain Man، تقدم تلميحات حول كيفية التي تعمل بها ذاكرته المذهلة.



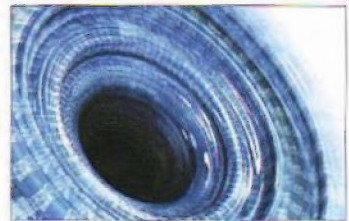
60

مقابل صوتي للثقوب السوداء

<A.T>، جاكوبسون> - <R>، پاريتاني>

تصال شمعون - —

تسلل الموجات الصوتية المنتشرة في مائع سلوك الموجات الضوئية المنتشرة في الفضاء. وحتى الثقوب السوداء لها ما يقابلها صوتيا. أفلا يمكن للزمان space-time أن يكون نوعا خاصا من الموائع مثل الأثير في فيزياء ما قبل أينشتاين؟



64

73 أخبار علمية

- استدلال مضاد
- الرنا (RNA) يهبط إلى الإنقاذ
- لهب نادر
- أحفورة، موتين

استخدام أذكي للنفايات النووية^(١)

تستطيع مفاعلات النيوترونات السريعة استخلاص المزيد من طاقة الوقود النووي المعاد تدويره، والحد من خطورة انتشار الأسلحة النووية، وكذلك اختصار الزمن اللازم لعزل النفايات النووية.

<H. W. هانوم> - <E. G. مارش> - <S. G. ستانفورد>

النيوترونات المنبعثة أن تصدم ذرات انشطارية مجاورة أخرى مسببة انقسامها ومولدة بذلك تفاعلا نوويا متسلسلا^(٢) تنقل الحرارة الناتجة إلى خارج المفاعل حيث تحول الماء إلى بخار يستخدم لتشغيل عتلات تقود مولدات كهربائية.

واليورانيوم 238 ليس مادة انشطارية، وإنما يسمى «قابلا للانشطار» لأنه قد ينقل أحيانا عند قذفه بنيوترون سريع، كما يقال أحيانا إنه خصب fertile لأنه عندما تمتص ذرة يورانيوم 238 نيوترونا من دون أن تنشط، فإنها تتحول إلى البلوتونيوم 239، وهو بدوره انشطاري مثل اليورانيوم 235 ويمكن له المحافظة على بقاء تفاعل متسلسل، بعد نحو ثلاث سنوات من التشغيل، عندما ينزع الفئونيون الوقود المستهلك عادة من أحد المفاعلات الحالية بسبب تدني حالته نتيجة الإشعاع واستنفاد اليورانيوم 235 منه، فإن البلوتونيوم يسهم في أكثر من نصف ما تولده المنشأة من كهرباء.

يتم إبطاء (أو تهدئة) النيوترونات في مفاعل حراري - والتي تكون سريعة عند ولادتها - من خلال تأثراتها مع الذرات المجاورة ذات الوزن الذري المنخفض مثل الهيدروجين في الماء، الذي يتدفق عبر قلب المفاعل، وجميع المفاعلات النووية التجارية الـ 440 أو نحوها، باستثناء مفاعلين اثنين،

المقاربة أن ينخفض النشاط الإشعاعي للنفايات المتولدة إلى مستويات آمنة خلال بضع مئات من السنين، مزيلا بذلك الحاجة إلى عزلها لعشرات الآلاف من السنين. ولكي تستطيع النيوترونات إحداث انشطارات نووية بفعالية يجب أن تكون حركتها إما بطيئة أو عالية السرعة. تضم معظم منشآت الطاقة النووية الموجودة حاليا ما يدعى مفاعلات حرارية^(٣)، وهي تشغل بنيوترونات ذات سرعة (أو طاقة) منخفضة نسبيا تصطدم مرتدة عن قلب المفاعل، وعلى الرغم من أن المفاعلات الحرارية تنتج الحرارة - ومن ثم الكهرباء - بكفاءة عالية، فإنها غير قادرة على تقليل النفايات المشعة الناتجة إلى الحد الأدنى.

تنتج جميع المفاعلات الطاقة بشطر نوى ذرات فلز ثقيل (ذي وزن ذري عال)، وبشكل رئيسي اليورانيوم أو عناصر مشتقة منه. يوجد اليورانيوم في الطبيعة كخليط من نظيرين: اليورانيوم 235 القابل للانشطار بسهولة (ويقال إنه «انشطاري» fissile) واليورانيوم 238 الأكثر استقرارا بكثير.

يتم قذف نار اليورانيوم في مفاعل ذري والمحافظة على أوارها بواسطة النيوترونات. عندما تصدم نواة ذرة انشطارية بنيوترون، وخاصة بنيوترون بطيء، فإنها ستفلق على الأرجح (تنشط) محصرة بذلك كميات كبيرة من الطاقة وعدة نيوترونات أخرى. يمكن عندئذ لبعض هذه

على الرغم من القلق العام القديم حول أمان الطاقة النووية، فإن كثيرا من الناس أخذوا يدركون أنها قد تكون أكثر طرق توليد كميات كبيرة من الكهرباء رفقا بالبيئة. تقوم عدة دول - من بينها البرازيل والصين ومصر وفنلندا والهند واليابان وباكستان وروسيا وكوريا الجنوبية وفيتنام - ببناء منشآت نووية، أو تخطط لبنائها. ولكن هذا التوجه العام لم يمتد حتى الآن إلى الولايات المتحدة، حيث تعود آخر الأعمال في منشآت كهذه إلى ما قبل 30 عاما.

قد تكون الطاقة النووية بالفعل، فيما إذا طوّرت بطريقة حساسة، مستدامة لا تنضب، وقد يمكن تشغيلها دون أن تسهم في تغير المناخ. وهناك على وجه الخصوص شكل جديد نسبيا من التقانة النووية قد يتغلب على المثالب الأساسية للطرق الحالية: أي القلق من حوادث المفاعلات، واحتمال تحويل الوقود النووي إلى أسلحة شديدة الفتك، وإدارة النفايات المشعة الخطيرة والطويلة العمر، واستنزاف احتياطيات اليورانيوم العالمية المحددة اقتصاديا. ستجمع دورة الوقود النووي هذه بين اختراعتين: المعالجة التعدينية الحرارية^(٤) (طريقة عالية الحرارة لإعادة تدوير نفايات المفاعلات وتحويلها إلى وقود) ومفاعلات نيوترونات سريعة متقدمة تستطيع حرق ذلك الوقود. يمكن بهذه

(١) العنوان الأصلي: SMARTER USE OF NUCLEAR WASTE: processing pyrometallurgical (١) thermal reactors (٢) nuclear chain reaction (٣)



حرارية، ومعظمها - بما فيها مفاعلات الطاقة الأمريكية 103 - تستعمل الماء لإبطاء النيوترونات ونقل الحرارة المتولدة بالانشطار إلى المولدات الكهربائية المرافقة. ومعظم هذه الأنظمة الحرارية هي ما يدعوه الهندسون مفاعلات ماء خفيف^(١).

في جميع منشآت الطاقة النووية تُستهلك ذرات الفلز الثقيل «باحترق» الوقود. ومع أن المنشآت تبدأ بوقود غني بمحتواه من اليورانيوم 235، فإن معظم ذلك اليورانيوم السهل الانشطار ينضب بعد نحو ثلاث سنوات. وعندما ينزع الفنيون الوقود المستنفذ^(٢) فإن نحو جزء واحد فقط من عشرين جزءاً من الذرات القابلة للانشطار (اليورانيوم 235 والبلوتونيوم واليورانيوم 238) يكون قد استهلك، ومن ثم فإن ما يسمى الوقود المستهلك مازال يحوي نحو 95% من طاقته الأصلية. إضافة إلى ذلك، يحوّل قرابة العُشر فقط من خام اليورانيوم المستخرج من المناجم إلى وقود خلال عملية الإثراء (التي يتم خلالها زيادة ملموسة في تركيز اليورانيوم 235). وبذلك فإن أقل من واحد في المئة من إجمالي المحتوى الطاقى لل خام يستخدم لتوليد الطاقة في المنشآت الحالية.

تعني هذه الحقيقة أن الوقود المستخدم الناتج من المفاعلات الحرارية الحالية ما زال يملك القدرة على إيقاد الكثير من النار النووية. ولما كانت موارد اليورانيوم في العالم محدودة، والعدد المتنامي باستمرار من المفاعلات الحرارية قد يستنفد احتياطات اليورانيوم المتوافرة المنخفضة التكلفة خلال بضعة عقود، فمن غير المعقول أن يرمى بهذا الوقود المستهلك أو «البقايا» المتبقية من عملية الإثراء.

يتألف الوقود المستهلك من ثلاثة أصناف من المواد: نواتج الانشطار التي تشكل نحو 5 في المئة من الوقود المستخدم، وهي النفايات الحقيقية أو رماد النار الانشطارية إن شئت. وهي تتكوّن من مزيج من عناصر أخف نشأت عندما انشطرت الذرات الثقيلة. يكون

هذا المزيج ذا نشاط إشعاعي عال في البداية لعدة سنوات، وبعد عقد أو نحوه يغلب على النشاط الإشعاعي نظيران: السيزيوم 137 والسترونسيوم 90. وكلاهما يذوب في الماء، ومن ثم يجب احتواؤها بشكل مأمون تماماً. يضمحل النشاط الإشعاعي لهذين النظيرين في ثلاثة قرون تقريباً بعامل 1000 وعندها يزول خطرهما عملياً.

يشكل اليورانيوم معظم الوقود النووي المستهلك (نحو 94 في المئة)، وهو يورانيوم غير منشطر يكون قد فقد معظم ما يحويه من اليورانيوم 235، وهو يشابه اليورانيوم الطبيعي (الذي يحوي بالكاد 0.71 في المئة من اليورانيوم 235 الانشطاري)، هذا المكوّن متوسط النشاط الإشعاعي، وعند فصله عن نواتج الانشطار وباقي المواد في الوقود المستهلك يمكن خزنها بسهولة للاستخدام المستقبلي بشكل آمن ضمن منشآت محمية عادية.

إن الجزء المتوازن من المواد - وهو الجزء الذي يشكل مشكلة فعلية - يشمل عناصر ما بعد اليورانيوم transuranic،

وهي عناصر أثقل من اليورانيوم^(٣). وهذا الجزء من الوقود عبارة عن مزيج من نظائر البلوتونيوم مع قدر ملموس من الأمريشيوم americium. وعلى الرغم من أن نظائر ما بعد اليورانيوم لا تشكل سوى واحد في المئة من الوقود المستهلك فإنها تشكل المصدر الأساسي لشبكة النفايات النووية الحالية. يمتد عمر النصف لهذه الذرات (أي الفترة الزمنية التي ينتصف فيها النشاط الإشعاعي) حتى عشرات الآلاف من السنين، وهذه الخاصية جعلت المنظمين في حكومة الولايات المتحدة يفرضون أن يعزل مخزن النفايات النووية العالية المستوى المزعم إنشاؤه في جبل يوكا بنيفادا الوقود المستهلك لفترة تزيد على عشرة آلاف سنة.

(١) light-water reactors (١)

(٢) يعرف الاستنفاد depletion بأنه النسبة المئوية للنقص في عدد الذرات القابلة للانشطار في مجموعات الوقود نتيجة لاستهلاكها في المفاعل النووي.

(٣) العناصر الترانسيورانية، أو عناصر ما بعد اليورانيوم transuranic elements هي ما يلي اليورانيوم من عناصر في الجدول الدوري، أي ما يزيد عدده الذري على 92. (التحريز)

استراتيجية بالية^(*)

توقع المهندسون النوويون الأوائل أنه سيجري فصل البلوتونيوم المتشكل في وقود المفاعلات الحرارية المستهلك ومن ثم يعاد استخدامه في مفاعلات النيوترونات السريعة والتي تسمى مفاعلات ولودة سريعة^(*): لأنها مصممة لإنتاج بلوتونيوم أكثر مما تستهلك. تصوّر رواد الطاقة النووية أيضا اقتصادا يتضمن تجارة حرة بالبلوتونيوم. بيد أن البلوتونيوم يصلح للاستخدام في صنع القنابل. ومع انتشار التقنية النووية خارج الدول العظمى الرئيسية فإن هذا الاستخدام المحتمل أدى إلى قلق من انتشار الأسلحة الذرية بشكل غير قابل للسيطرة عليه إلى دول أخرى أو حتى إلى مجموعات إرهابية.

عاجت اتفاقية عدم الانتشار النووي هذه المعضلة جزئيا عام 1986. يمكن للدول الراغبة في جني فوائد تقنية الطاقة النووية أن ترفع الاتفاقية وتعد بآلا تحوز أسلحة نووية، وبناء على ذلك توافق الأمم التي تمتلك أسلحة على مساعدة الآخرين في تطبيقاتها السلمية. ورغم أن كادرا (فريقا) cadre من المفتشين الدوليين قام منذئذ بمراقبة التزام الأعضاء بالاتفاقية، فإن فعالية هذه الاتفاقات الدولية كانت متفاوتة لأنها افترضت إلى السلطة الفعالة ووسائل التنفيذ الجبري.

نظرة إجمالية/ إعادة التدوير النووي^(***)

يحتاج مصممو الأسلحة النووية إلى بلوتونيوم ذي محتوى عال جدا من نظير البلوتونيوم 239، في حين يحتوي البلوتونيوم الناتج من منشآت الطاقة التجارية عادة على مقادير ملموسة من نظائر بلوتونيوم أخرى مما يجعلها صعبة الاستخدام في قنبلة. ومع ذلك فإن استخدام البلوتونيوم الموجود في الوقود المستهلك في الأسلحة ليس أمرا يستحيل تصوّره. لذلك فقد حظر الرئيس الأمريكي السابق جيمي كارتر^(*) إعادة المعالجة المدنية للوقود النووي في الولايات المتحدة عام 1977. وقد برّر ذلك بأنه مادام لم يجر بعد استعادة البلوتونيوم من الوقود المستهلك، فإنه لا يمكن استخدامه لصنع قنابل. أراد «كارتر» أيضا أن تكون أمريكا مثالا لباقي العالم، ولكن فرنسا واليابان وروسيا والمملكة المتحدة لم تحدّ حذره، ولذلك فإن إعادة معالجة البلوتونيوم لاستخدامه في منشآت الطاقة مستمرة في عدد من الدول.

مقاربة بديلة^(***)

عندما أصدر الحظر كانت «إعادة المعالجة» مرادفا لطريقة «پوريكس» PUREX مصطلح مشتق من استخلاص البلوتونيوم واليورانيوم^(*)، وهي تقنية تم تطويرها لاستيفاء الحاجة إلى بلوتونيوم نقي كيميائيا لأغراض الأسلحة الذرية. ولكن مفاعلات

- بغية التقليل من ارتفاع حرارة الكرة الأرضية العالمي بأكبر قدر ممكن، قد تحتاج البشرية إلى توليد القرن الأكبر من الطاقة مستقبلا باستعمال تقانات الطاقة النووية، وهي لا تطلق أي ثنائي أكسيد الكربون بذاتها.
- في حال إنشاء المزيد من منشآت الطاقة النووية الحرارية (أو النيوترونات البطيئة) الحالية فإن الاحتياطيات العالمية من اليورانيوم المنخفض الثمن ستتضب في بضعة عقود. إضافة إلى ذلك فإن كميات كبيرة من النفايات العالية النشاط الإشعاعي المتولدة فقط في الولايات المتحدة يجب تخزينها لعشرة آلاف سنة على الأقل، وهي أكثر بكثير مما يمكن وضعه في مدفن جبل يوكا في نيفادا. والأسوأ من ذلك أن معظم الطاقة التي يمكن استخلاصها من اليورانيوم الأصلي ستكون قد انضّخت في النفايات.
- إن استعمال بورة وقود نووي جديدة وأكثر فعالية بكثير - تستند إلى مفاعلات النيوترونات السريعة وإعادة تدوير الوقود المستهلك عبر المعالجة المعدنية الحرارية - سيبيح استخدام قدر أكبر بكثير من طاقة اليورانيوم الموجود في الأرض لإنتاج الكهرباء. ستقلل دورة كهذه توليد نفايات المفاعلات الطويلة العمر ويمنحها أن تدعم توليد الطاقة النووية إلى ما لا نهاية.

النيوترونات السريعة الحديثة تتيح استراتيجية إعادة تدوير بديلة لا تتضمن بلوتونيوم نقيًا في أي مرحلة. لذلك فإن المفاعلات السريعة تخفف خطورة استخدام الوقود المستهلك الناتج من توليد الطاقة في إنتاج الأسلحة إلى أدنى حد ممكن، وتؤمن في الوقت نفسه مقدرة فريدة على استخراج أكبر قدر من الطاقة من الوقود النووي [انظر الإطار في الصفحة 8]. أنشئت عدة مفاعلات كهذه لتوليد الطاقة - في فرنسا واليابان وروسيا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة، ومازال اثنان منها قيد التشغيل [انظر: «الجيل التالي من الطاقة النووية»، **الطاقم**، العددان 6/5 (2002)، ص 4].

تستطيع المفاعلات السريعة استخلاص قدر أكبر من طاقة الوقود النووي مقارنة بالمفاعلات الحرارية لأن نيوتروناتها المتحركة بسرعة (طاقة أعلى) تسبب انشطارات ذرية أكثر مما تفعل النيوترونات الحرارية البطيئة. تعود هذه الكفاءة إلى ظاهرتين: أولا، عند سرعات بطيئة يُمصّ عدد أكبر بكثير من النيوترونات في تفاعلات غير انشطارية ويُفقد. ثانيا، تعمل الطاقة الأعلى لنيوترون سريع على زيادة احتمال انشطار ذرة فلز ثقل خصب - مثل اليورانيوم 238 - عند صدمها. وبسبب هذه الحقيقة فلن يكون اليورانيوم 235 والبلوتونيوم 239 فقط مرجّحين لأن ينشطرا في مفاعل سريع، ولكنّ قدرا ملحوظا من ذرات ما بعد اليورانيوم الثقيلة سيقوم بذلك أيضا.

لا يمكن استخدام الماء في مفاعل سريع لنقل الحرارة من القلب، لأنه سوف يبطئ النيوترونات السريعة. لذا يستخدم المهندسون عادة فلزا سائلا مثل الصوديوم كمبرّد ونقل للحرارة. يتمتع الفلز السائل بميزة واحدة كبيرة مقارنة بالماء: تعمل المنظومات المبردة بالماء تحت ضغط عال جدا بحيث إنّ تشققا صغيرا قد يتطور بسرعة إلى إطلاقا كبيرة

نوع جديد من المفاعلات النووية^(*)

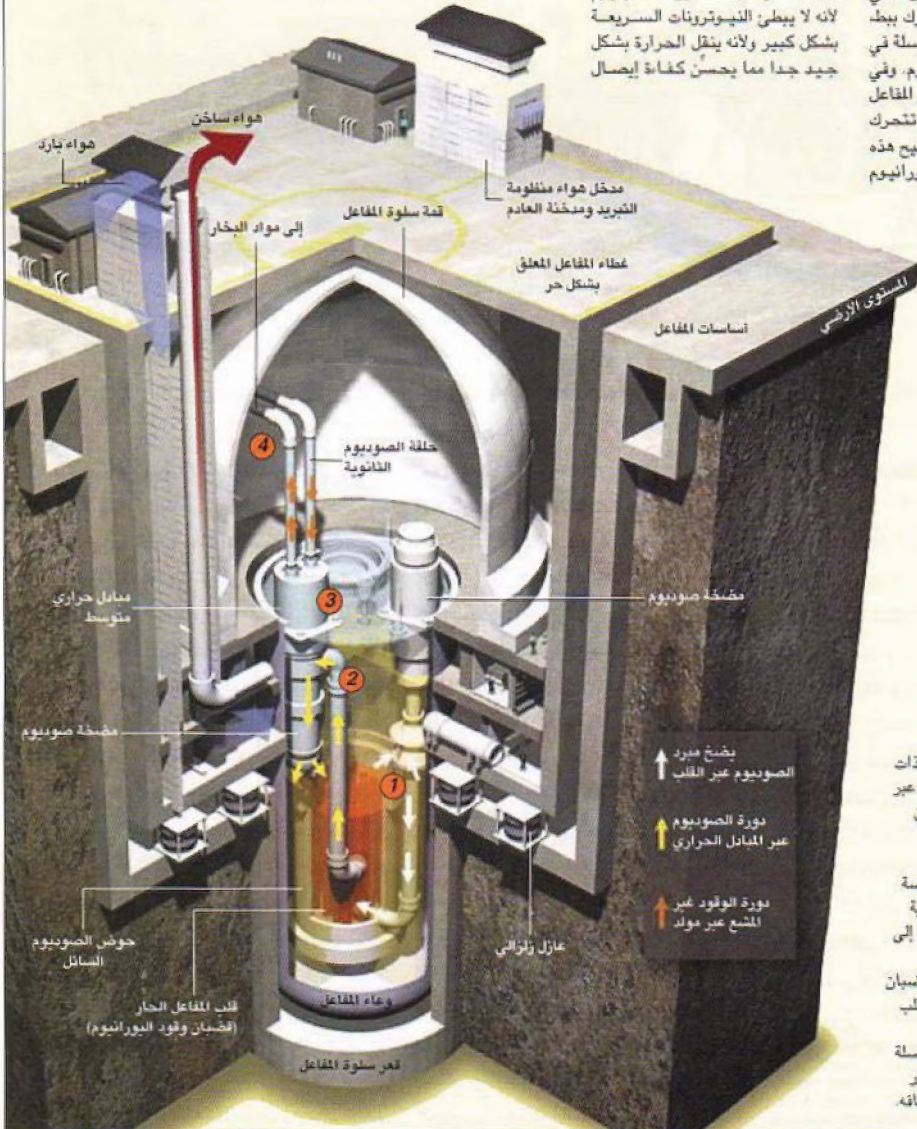
الصدويوم غير المشع بدوره (4) الحرارة إلى مبادل الحرارة التهاني/ مولد البخار (غير ظاهر) حيث يجري توليد البخار في الأنابيب المجاورة الملوثة بالماء. يستعمل البخار الساخن العالي الضغط بعدد لإدارة توربينات (عناث) بخارية تُشغل المولدات المنتجة للكهرباء. (غير ظاهر).

New Types of Nuclear Reactors (+)
Reactor Safe guards (**)

الحرارة إلى منشأة توليد الكهرباء. وسيعمل مفاعل سريع على النحو التالي: تؤدي النار النووية المتقدمة في القلب إلى تسخين الصدويوم السائل المشع المار فيه. يسخن بعض الصدويوم المسخن إلى مبادل حراري متوسط (2) حيث سينقل الطاقة الحرارية إلى الصدويوم السائل غير المشع الذي يتدفق في الأنابيب الملاصقة والمنفصلة (3) من حلقة الصدويوم الثانوية. ينقل

والذرات الأثقل متيحة بذلك التقاط قدر أكبر بكثير من طاقة الوقود. وسيحرق المفاعل الجديد وقودا مصنعا من إعادة تدوير وقود المفاعلات الحرارية المستهلكة. وفي معظم تصاميم المفاعلات الحرارية يغمر الماء القلب ليبطئ (يهدئ) النيوترونات ويبقيه باردا. أما المفاعل ALMR فهو يستخدم حوضا من الصدويوم السائل الدائر كمبرد (1). اختار المهندسون الصدويوم لأنه لا يبطئ النيوترونات السريعة بشكل كبير ولأنه ينقل الحرارة بشكل جيد جدا مما يحسن كفاءة إيصال

قد تستند دورة طاقة نووية أكثر أمانا واستخداما إلى تصميم مفاعلات الفلز السائل المتقدمة (ALMR) الذي جرى تطويره في ثمانينيات القرن العشرين في مختبر أركون الوطني. وكجميع منشآت الطاقة الذرية فإن منظومة تستند إلى المفاعل ALMR ستستخدم تقاعات نووية متسلسلة في القلب لإنتاج الحرارة اللازمة لتوليد الكهرباء. وما يميز المنشآت النووية التجارية الحالية هو المفاعلات الحرارية التي تعتمد على نيوترونات تتحرك ببطء نسبيا لنشر التفاعلات المتسلسلة في وقود اليورانيوم والبلوتونيوم. وفي المقابل فإن منظومة تستند إلى المفاعل ALMR ستستخدم نيوترونات تتحرك بسرعة (ذات طاقة عالية). تتيح هذه العملية استهلاك كامل اليورانيوم



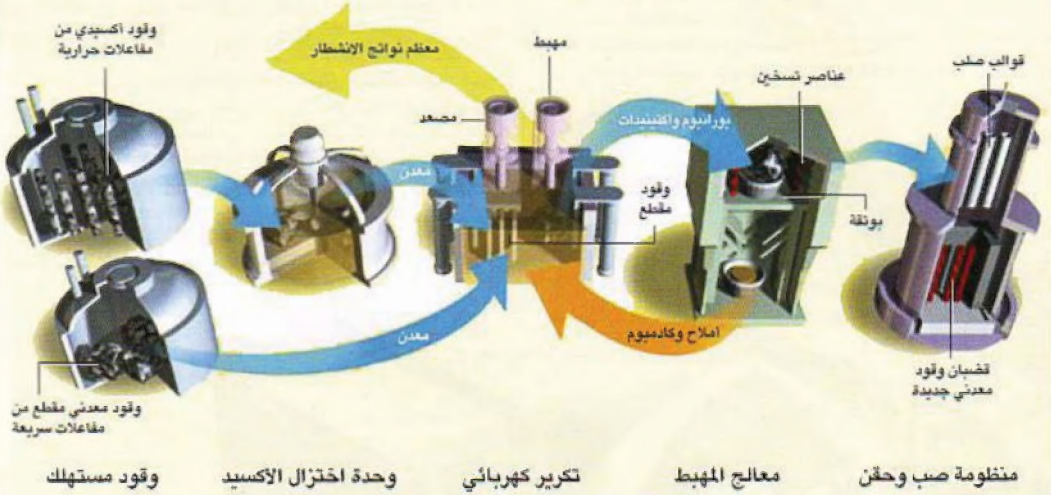
ضمانات المفاعل^(**)

- خلال التشغيل تدفع مضخات ذات استقامة عالية مبرد الصدويوم عبر القلب. إذا تعطلت المضخات فإن الجاذبية ستدير المبرد.
- إذا تعطلت مضخات المبرد أو توقفت، فإن تجهيزات أمان خاصة ستتحقق أيضا لنيوترونات إضافية الشرب إلى خارج القلب مؤدية إلى خفض حرارته.
- في حال الطوارئ تدخل ستة قضبان تحكم ماصة للنيوترونات في القلب لإيقافه فوراً.
- وإذا استمرت التفاعلات المتسلسلة فإن آلاف الكرات من كربيد البور ستترس في القلب ما يضمن إيقافه.

طريقة جديدة لإعادة استخدام الوقود النووي^(١)

يذهب وقود اليورانيوم والبوتونيوم الفلزي من المفاعلات السريعة مباشرة إلى المكرر الكهربائي. يشابه التكرير الكهربائي الطلاء الكهربائي: يغسل الوقود النووي المرتبط بمهبط في حمام كيميائي. يطلي التيار الكهربائي اليورانيوم والأكسينيدات الأخرى على المصعد. ثم ترسل العناصر المستخلصة إلى معالج المصعد لنزع ما تبقى من أملاح وكادميوم بعد التكرير. أخيراً يسبك اليورانيوم المتبقي والأكسينيدات في قضبان وقود طازج، ويعاد تدوير الأملاح والكادميوم.

إن المدخل إلى إعادة التدوير التعديني الحراري للوقود النووي هو إجراءات التكرير الكهربائي electro-refining. تنزع هذه العملية النفايات الحقيقية، أي نواتج الانشطار، من اليورانيوم والبوتونيوم والأكسينيدات الأخرى (عناصر مشعة ثقيلة) في الوقود النووي. تبقى الأكسينيدات ممتزجة مع البوتونيوم بحيث لا يمكن استخدامه مباشرة في الأسلحة. سيخضع الوقود المستهلك من المفاعلات الحرارية الحالية (أكسيد اليورانيوم والبوتونيوم) أولاً إلى اختزال الأكسيد لتحويله إلى فلز، في حين



المعالجة الحرارية^(٢)

تستخلص المعالجة المعدنية الحرارية (اختصاراً: پيرو pyro، أو المعالجة الحرارية) من الوقود المستخدم مزيجاً من عناصر ما بعد اليورانيوم بدلاً من البوتونيوم الصنف كما في طريقة بوريكس، وهي تستند إلى طلاء كهربائي، أي استخدام الكهرباء لتجميع فلز مستخلص بشكل أيونات من حمام كيميائي على قطب فلزي موصل (ناقل). وقد اشتق اسمها من درجات الحرارة العالية التي يجب تعريض الفلزات لها خلال العملية. جرى تطوير مقاربتين متشابهتين: إحداهما في الولايات المتحدة والأخرى في روسيا. الفرق الرئيسي هو أن الروس يعالجون وقوداً سيراميكياً (أكسيداً)، في حين أن الوقود في المفاعل ALMR فلزي.

خمسنيات القرن العشرين، ثم وجهت هذه الأبحاث في الثمانينات نحو مفاعل سريع (سُمّي مفاعل الفلز السائل المتقدم^(٣)) (ALMR) ذي وقود فلزي مبرد بفلز سائل كان سيدمج مع وحدة معالجة تعدينية حرارية ذات حرارة عالية بهدف إعادة تدوير الوقود وإعادة تعبئته. تتبّع المهندسون النوويون أيضاً عدة أفكار أخرى للمفاعلات السريعة يستخدم بعضها وقود اليورانيوم أو البوتونيوم الفلزي، في حين يستخدم بعضها الآخر وقوداً أكسيدياً. استخدمت مبردات من الرصاص المنصهر ومطول الرصاص-بيزموث. يعد الوقود الفلزي المستخدم في المفاعل ALMR ذا أفضلية على الأكاسيد لعدة أسباب: فهو يتمتع ببعض ميزات الأمان، ويسمح بتوليد وقود جديد بصورة أسرع ويمكن مزاجته مع إعادة التدوير التعديني الحراري بصورة أسهل.

من البخار، وربما إلى كسر خطير في أنبوب مسبباً فقداناً سريعاً لمبرد المفاعل. أما مخطومات الفلز السائل فتعمل تحت الضغط الجوي، لذلك فهي تشكل احتمالاً أقل بكثير لحدوث إطلاق كبير. مع ذلك فإن الصوديوم يشتعل عند تعرضه للماء مما يوجب إدارته بحذر. لقد تكدّست خبرة صناعية ملموسة بالتعامل مع هذه المادة عبر السنين، كما تطورت طرق الإدارة بصورة جيدة. ومع ذلك فقد حدثت حرائق صوديوم، ودون شك سيكون هناك المزيد. بدأت إحدى حرائق الصوديوم عام 1995 في مفاعل مونتجو السريع في اليابان، وقد أدى ذلك إلى إفساد بناء المفاعل، ولكنه لم يشكل قط تهديداً لسلامة المفاعل ولم يثأد أحد أو يتعرض للإشعاع. لا يعتبر المهندسون قابلية الصوديوم للاشتعال مشكلة كبيرة.

بدأ باحثون في مختبر أركون الوطني بتطوير تقانة المفاعلات السريعة في خلال



تستخلص عناصر اليورانيوم والأكسينيدات من وقود مفاعلات حرارية مستهلك وتطلى على مصعد وحدة تكرير كيميائية خلال إجراء معالجة حرارية. بعد معالجة أخرى يمكن حرق الوقود الفلزي في مفاعلات النيوترونات السريعة.

صرفاً للبلوتونيوم أو منتجا صرفاً له، كما يمكن تشغيلها في نمط متعادل من دون ربح أو خسارة. يمكن للمنظومة عند تشغيلها كمنتج صرف، أن تؤمن مواد إقلاع لمنشآت مفاعلات طاقة سريعة أخرى. يمكن لها، كمستهلك صرف، استنفاد البلوتونيوم الفائض ومواد الأسلحة. عند اختيار نمط التعادل فإن الوقود الإضافي الذي تحتاج إليه المنشأة النووية لن يكون سوى صب (سكب) دوري لليورانيوم المستنفد (يورانيوم تم نزع معظم اليورانيوم الانشطاري 235 منه) لتعويض ذرات المعدن الثقيل التي انشطرت.

أظهرت دراسات الأعمال أن هذه التقنية يمكن أن تكون منافسة اقتصادياً لتقانات الطاقة النووية الحالية [انظر بحث «دبرلي» ضمن «مراجع للاستزادة» في الصفحة 11]. من المؤكد أن إعادة التدوير التعدينية الحرارية ستكون أرخص بكثير من إعادة التدوير بطريقة بوريكس، بيد أنه في الحقيقة

في الصفحة 10]. فعلى سبيل المثال تنتج منشأة مفاعل حراري قدرته الكهربائية 1000 ميغاوات أكثر من 100 طن من الوقود المستهلك في السنة. على النقيض من ذلك فإن النفايات المتولدة سنوياً من مفاعل سريع له نفس الاستطاعة الكهربائية، تتجاوز بقليل الطن الواحد من نواتج الانشطار. إضافة إلى كميات ضئيلة من عناصر ما بعد اليورانيوم. ستكون إدارة النفايات باستخدام دورة المفاعل ALMR مبسطة بشكل كبير. ولما كانت نفايات المفاعلات السريعة لا تحوي كميات ملموسة من عناصر ما بعد اليورانيوم طويل عمر النصف، فإن إشعاعها سيتفكك إلى مستوى الفلز الذي استخراج منه خلال بضع مئات من السنين بدلا من عشرات الألوف.

إذا استخدمت حصراً المفاعلات السريعة فإن نقل المواد ذات النشاط الإشعاعي العالي لن يجرى إلا في حالتين: عند نقل نفايات نواتج الانشطار إلى جبل يوكا أو موقع بديل للتخلص منها، أو عند نقل وقود الإقلاع إلى مفاعل جديد. إن تجارة البلوتونيوم ستكون فعليا قد أزيلت.

يدافع بعض الناس بأن الولايات المتحدة تعمل على برنامج مكثف لمعالجة الوقود المستهلك بطريقة بوريكس التي تنتج مزجاً من أكاسيد اليورانيوم والبلوتونيوم لإعادتها إلى مفاعلات حرارية. وعلى الرغم من أن طريقة مزيج الأكاسيد^(١١) MOX تستخدم حالياً لإتلاف فائض بلوتونيوم الأسلحة بحيث يمنع استخدامه في قنابل - وهي فكرة جيدة - فإننا نعتقد أنه من الخطأ نشر البنية التحتية لبوريكس الأكبر بكثير التي ستلزم لمعالجة الوقود المدني. إن كسب الموارد سيكون متوسطاً، في حين تبقى مشكلة النفايات طويلة المدى، وجميع هذه الجهود لن تؤجل الحاجة إلى مفاعلات سريعة فعالة إلا لفترة قصيرة فقط.

إن منظومة مكونة من مفاعل سريع والمعالجة الحرارية متعددة المزايا بشكل استثنائي. يمكن لها أن تكون مستهلكاً

في المعالجة الحرارية الأمريكية [انظر الإطار في الصفحة المقابلة] يقوم الفنيون بحل الوقود الفلزي المستهلك في حمام مائي، ثم يقوم تيار كهربائي قوي بتجميع انتقائي البلوتونيوم وعناصر ما بعد اليورانيوم الأخرى مع بعض نواتج الانشطار والكثير من اليورانيوم على قطب كهربائي. تبقى معظم نواتج الانشطار وبعض اليورانيوم في الحمام. عندما تتجمع دفعة كاملة يقوم الفنيون بنزع القطب وكشط المواد المتجمعة عن القطب وصهرها ثم يصبونها في قالب، ويرسل القالب إلى خط إعادة تصنيع لتحويلها إلى وقود مفاعل سريع. عندما يشبع الحمام بنواتج الانشطار يقوم الفنيون بتنظيف المحلول ويعالجون نواتج الانشطار المستخلصة بغية التخلص الدائم منها.

لذلك - وخلافاً لطريقة بوريكس الحالية - فإن المعالجة الحرارية تجمع عملياً جميع عناصر ما بعد اليورانيوم (بما فيها البلوتونيوم) مع جزء ملموس من اليورانيوم ونواتج الانشطار. وينتهي قدر صغير جداً من مكون ما بعد اليورانيوم في مجرى النفايات النهائي مما يقلل الزمن اللازم للعزل بشكل كبير. إن تجميع نواتج الانشطار مع مواد ما بعد اليورانيوم غير ملائم للأسلحة ولا حتى لوقود المفاعلات الحرارية. من ناحية ثانية، لا يعد هذا المزيج مقبولاً فقط وإنما هو مفيد في وقود المفاعلات السريعة.

وعلى الرغم من أن تقنية إعادة التدوير التعديني الحراري ليست جاهزة تماماً للاستخدام التجاري الفوري فإن الباحثين بينوا مبادئها الأساسية، وتم عرضها بنجاح على مستوى الريادة في منشآت طاقة عاملة في كل من الولايات المتحدة وروسيا. ولكنها لم تعمل بعد على نطاق الإنتاج الكامل.

مقارنة الدورات^(١٢)

تتشابه الإمكانيات التشغيلية للمفاعلات السريعة والحرارية من عدة أوجه، ولكن الغروك جسيمة في نواح أخرى [انظر الإطار

مقارنة ثلاث دورات للوقود النووي^(*)

يمكن استخدام ثلاث مقاربات لحرق الوقود النووي والتعامل مع نفاياته، فيما يلي عدد من مزاياها.

إعادة تدوير الوقود

يحرق الوقود المعاد تدويره عبر معالجة معدنية حرارية في مفاعلات نيوترونات سريعة متقدمة، نموذج أولي من النشأة.

إعادة تدوير البلوتونيوم

يحرق الوقود في مفاعلات حرارية، بعدها يستخلص البلوتونيوم باستخدام معالجة بوريكس، تطبق في دول متقدمة أخرى.

مسلك المرة الواحدة

يحرق الوقود في مفاعلات حرارية ولا تعاد معالجته. تطبق في الولايات المتحدة.

استخدام الوقود



يستطيع استرجاع أكثر من 99 في المئة من الطاقة الموجودة في وقود المفاعلات الحرارية المستهلك. عند نفاذ وقود المفاعلات النووية المستهلك يمكن أن يحرق اليورانيوم المستنفد واسترجاع أكثر من 99 في المئة من الطاقة المخزنة في فلز اليورانيوم.



يستفيد من نحو 6 في المئة من الطاقة الموجودة في وقود المفاعل الأصلي وأقل من 1 في المئة من الطاقة الموجودة في فلز اليورانيوم. لا يستطيع حرق اليورانيوم المستنفد أو اليورانيوم الموجود في الوقود المستهلك.



يستفيد من قرابة 5 في المئة من الطاقة الموجودة في وقود مفاعل حراري وأقل من 1 في المئة من الطاقة الموجودة في فلز اليورانيوم (المصدر الأساسي للوقود). لا يستطيع حرق اليورانيوم المستنفد (الجزء المزروع من الفلز عند إنشائه) أو اليورانيوم الموجود في الوقود المستهلك.

النفايات والعمليات اللازمة

الأحمر: يتطلب حمايات مادية شديدة. البرتقالي: يحتاج فقط إلى حمايات مادية متوسطة. الأزرق: خطورة محتملة على الأجيال القادمة.

تصنيع وقود ضمن الموقع.
معالجة معدنية حرارية ضمن الموقع (إعادة تدوير فورية للوقود المستهلك).
نفايات طاقة.
معالجة الوقود ضمن الموقع.
مخزن دائم قادر على عزل النفايات لأقل من 500 سنة.
(لا حاجة إلى التعدين لقرون، لا حاجة إلى إلغاء اليورانيوم أبداً).

مناجم يورانيوم.
إلغاء الوقود.
خلطة بلوتونيوم (مزج).
تصنيع وقود خارج الموقع.
إعادة معالجة بطريقة بوريكس خارج الموقع.
نفايات طاقة.
مخزن مؤقت للنفايات.
معالجة النفايات خارج الموقع.
مخزن دائم قادر على عزل النفايات بشكل آمن لعشرة آلاف سنة.

مناجم يورانيوم
إلغاء الوقود لتكريز اليورانيوم الانشطاري.
تصنيع الوقود.
نفايات طاقة.
مخزن مؤقت للنفايات (إلى أن يمكن التخلص النهائي من النفايات).
مخزن دائم قادر على عزل النفايات بشكل آمن لعشرة آلاف سنة.
(لا يحتاج إلى تعامل بالبلوتونيوم أو عمليات معالجة نفايات).

مصير البلوتونيوم

يتقلص المخزون في آخر الأمر إلى ما هو موجود في المفاعلات وفي إعادة التدوير.
يمكن أن ينخفض فائض البلوتونيوم الصالح للأسلحة بسرعة.
البلوتونيوم الموجود في الوقود غير نقي لدرجة أنه لا يصلح للتحويل إلى أسلحة.

يزداد مخزون البلوتونيوم في الوقود المستهلك وهو متاح للتجارة الاقتصادية.
يتنخفض فائض البلوتونيوم الصالح للأسلحة ببطء غير مزجج في وقود مازجج.

يزداد مخزون البلوتونيوم في الوقود المستهلك ببطء.
يتنخفض فائض البلوتونيوم الصالح للأسلحة ببطء غير مزجج في وقود مازجج.

نوع النفايات

يمكن إعداد أشكال النفايات حسب الطلب ولا تحتاج إلى المحافظة عليها إلا لـ 500 سنة وبعدها لن تكون المواد خطرة.
نظراً لعدم وجود البلوتونيوم فلن تكون النفايات صالحة لصنع الأسلحة.

نفايات مزججة غنية بالطاقة وثابتة لدرجة عالية.
النفايات نشيطة إشعاعياً لدرجة أنه يمكن تعريفها بأنها «محمية ذاتياً» لبضع مئات من السنين ضد معظم المجموعات الراغبة في الحصول على البلوتونيوم 239 لصنع أسلحة نووية.

يعزل الوقود المستهلك الغني بالطاقة في حاويات ومخازن تخزين تحت أرضية.
النفايات نشيطة إشعاعياً لدرجة أنه يمكن تعريفها بأنها «محمية ذاتياً» لبضع مئات من السنين ضد معظم المجموعات الراغبة بالحصول على البلوتونيوم 239 لصنع أسلحة نووية.

لا يمكن معرفة قابلية المنظومة للبقاء اقتصاديا ما لم يتم إثباتها.

إن الاقتصاديات الكلية لأي مصدر طاقة لا تعتمد فقط على التكاليف المباشرة، بل تعتمد أيضا على ما يدعوه الاقتصاديون «الخارجيات» externalities، وهي تكاليف مقاعيل خارجية يصعب تقديرها كميا تنجم عن استخدام التقنية. على سبيل المثال عندما تحرق الفحم أو النفط لتوليد الطاقة فإن مجتمعنا تتقبل الآثار الصحية الضارة والتكاليف البيئية التي تتضمنها. لذلك فإن التكاليف الخارجية في الواقع تناصر توليد طاقة الوقود الأحفوري، إما مباشرة أو عبر آثار غير مباشرة على المجتمع ككل. وعلى الرغم من صعوبة تقدير «الخارجيات» فإن المقارنات الاقتصادية التي لا تأخذها بعين الاعتبار ستكون غير واقعية ومضللة.

الربط بين أنماط المفاعلات

إذا دخلت المفاعلات المتقدمة حيز الاستخدام، فإنها ستحرق في البداية وقود المفاعلات الحرارية المستهلك الذي جرت إعادة تدويره بمعالجة حرارية. ستنتقل هذه النفايات، وهي مخزنة بشكل مؤقت حاليا في الموقع، إلى منشآت تستطيع معالجتها في ثلاث قنوات خرج: القناة الأولى تكون عالية النشاط الإشعاعي، وتضم معظم نواتج الانشطار مع قدر ضئيل لا يمكن تجنبه من عناصر ما بعد اليورانيوم. سيتم تحويلها إلى شكل مستقر غزياني - قد تكون مادة شبيهة بالزجاج - ومن ثم تنقل إلى جبل يوكا أو موقع دائم آخر للتخلص النهائي.

والقناة الثانية ستلتقط عمليا جميع عناصر ما بعد اليورانيوم مع بعض اليورانيوم ونواتج الانشطار، وسيجري تحويلها إلى وقود فلتري للمفاعلات السريعة، ومن ثم تحال إلى مفاعلات من النوع ALMR.

والقناة الثالثة التي تبلغ نسبتها نحو 92 في المئة من وقود المفاعلات الحرارية المستهلك ستحوي معظم اليورانيوم، وهو

الآن مستنقد ويمكن إخراجه للاستعمال المستقبلي كوقود مفاعل سريع.

لا يمكن بالطبع تحقيق سيناريو كهذا خلال ليلة وضحاها. إذا بدأنا اليوم فإن أول المفاعلات السريعة قد يبدأ العمل بعد نحو 15 سنة. من الجدير بالذكر أن ذلك البرنامج متوافق بشكل معقول مع الجدول الزمني المخطط لإرسال وقود المفاعلات الحرارية المستهلك إلى جبل يوكا. يمكن بدلا من ذلك إرسالها لإعادة تدويرها كوقود مفاعل سريع.

ومع بلوغ المفاعلات الحرارية الحالية نهاية عمرها التشغيلي يمكن استبدال مفاعلات سريعة بها. إذا تم ذلك فلن تكون هناك حاجة إلى استخراج فلزات اليورانيوم لعقود، ولن تكون هناك أي طلبات أبدا لإثراء اليورانيوم. وعلى المدى الطويل جدا فإن إعادة تدوير وقود المفاعلات السريعة ستكون أمرا فعالا إلى درجة أن الموارد المتوافرة حاليا من اليورانيوم ستبقى إلى ما لا نهاية. إن كلا من الهند والصين أعلنتا أنها

تخططان لتوسعة مصادرها الطاقة باستخدام المفاعلات السريعة. نذكر أن مفاعلاتها الأولى ستستخدم وقودا أكسيديا أو كربيديا وليس وقودا فلتريا - وهو ليس السبيل الأمثل وقد يكون اختياره تم لأن تقانة إعادة المعالجة بوريكس ناضجة، في حين ما زالت المعالجة الحرارية غير مثبتة تجاريا. ما زال هناك متسع من الوقت كي تستكمل الولايات المتحدة التطوير الأساسي لمنظومات مفاعلات سريعة/ معالجة حرارية للوقود الفلتري. في المستقبل المنظور تبقى الحقيقة القاسية أن الطاقة النووية فقط هي القادرة على تلبية حاجات البشرية الطويلة الأمد من الطاقة مع المحافظة على البيئة. وكي يستمر توليد طاقة نووية مستدامة على نطاق واسع، يجب أن يدوم توريد الوقود النووي لوقت طويل، ويعني ذلك أن دورة الطاقة النووية يجب أن تتمتع بصفات المفاعل ALMR والمعالجة الحرارية. ويبدو أن الوقت مناسب لاتخاذ هذا المنحى الجديد باتجاه تطوير واع الطاقة.

Coupling Reactor Types 107

المؤلفون

William H. Hannum - Gerald E. Marsh - George S. Stanford

فيزيائيين عملوا على تطوير المفاعلات السريعة في مختبرات أركونا الوطنية التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية «هاننوم»، رئيس أبحاث تطوير الفيزياء النووية وأمان المفاعلات في وزارة الطاقة. وكان نائب المدير العام لوكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتطوير الاقتصادي في باريس. عمل «مارش» وهو زميل في الجمعية الفيزيائية الأمريكية، مستشارا في وزارة الدفاع الأمريكية حول التفاتات والسياسات النووية الاستراتيجية في إدارات عدد من الرؤساء السابقين. وهو مؤلف مشارك في الكتاب.

The Phantom Defense: America's Pursuit of the Star Wars Illusion (Praeger Press)

أما «ستانفورد» الذي تركّز أبحاثه على الفيزياء النووية التجريبية وفيزياء المفاعلات وأمان المفاعلات السريعة، فهو مؤلف مشارك للكتاب.

Nuclear Shadowboxing: Contemporary Threats from Cold War Weaponry (Fittler Doubleday)

مراجع للاستزادة

Breeder Reactors: A Renewable Energy Source. Bernard L. Cohen in *American Journal of Physics*, Vol. 51, No. 1, January 1983.

The Technology of the Integral Fast Reactor and its Associated Fuel Cycle. Edited by W. H. Hannum. *Progress in Nuclear Energy*, Special Issue, Vol. 31, Nos. 1-2, 1997.

Integral Fast Reactors: Source of Safe, Abundant, Non-Polluting Power. George Stanford. National Policy Analysis Paper #378; December 2001. Available at www.nationalcenter.org/NPA378.html

LWR Recycle: Necessity or Impediment? G. S. Stanford in *Proceedings of Global 2003*. ANS Winter Meeting, New Orleans, November 16-20, 2003. Available at www.nationalcenter.org/LWRStanford.pdf

S-PRISM Fuel Cycle Study. Allen Dubberly et al. in *Proceedings of ICAPP '03*. Córdoba, Spain, May 4-7, 2003, Paper 3144.

تقانة Wi-Fi الذكية⁽¹⁾

أصبح النفاذ اللاسلكي إلى الإنترنت عن طريق التقانة Wi-Fi⁽²⁾ أكثر شيوعاً، ولهذا جرى الارتقاء بهذه التقانة كي يتسنى للمستخدمين الحصول على خدمة سريعة وموثوقة.

(A. فيلر)

لقد حدث الكثير في عالم اللاسلكي خلال السنوات الـ 12 التي انقضت منذ تدشين الشبكة اللاسلكية في جامعة كارنيكي ميلون، حيث ظهر العديد من المشكلات الشائكة نتيجة الزيادة المطردة في استخدام التقانة Wi-Fi، إلا أن تقدماً ملموساً جرى تحقيقه في حل هذه المشكلات، ولكن، قبل التطرق إلى هذه التطورات لا بد من مناقشة كيفية عمل التقانة Wi-Fi.

كيفية عمل التقانة Wi-Fi⁽³⁾

تتكون الشبكات Wi-Fi من حواسيب متنقلة مجهزة بالتقانة Wi-Fi (أجهزة حاسوبية laptop أو محمولة باليد)، أو هواتف خاصة بالتقانة Wi-Fi، إضافة إلى نقاط نفاذ إلى الشبكة (Wi-Fi access points (APs). ونقاط النفاذ هذه هي محطات قاعدية base stations تتواصل بالراديو وبالأسلاك بكل من الأنظمة المحمولة وبالشبكات التي تؤمن لها في نهاية الأمر مدخلاً إلى الإنترنت، وتستطيع كل نقطة نفاذ إرسال واستقبال إشارات ضمن مجال محدود يراوح عادة بين 20 و 50 متراً داخل بناء ما، تشكل منطقة التغطية لنقطة نفاذ خلية ثلاثية الأبعاد تشبه كرة مجوفة (تأمل خلية هاتف نقال إلا أنها أصغر بكثير)، تستطيع أن تخدم العديد من الأجهزة النقالة الواقعة ضمنها في وقت واحد [انظر الشكل في الصفحة 14].

أطلق على الشبكات Wi-Fi أصلاً اسم شبكات محلية لاسلكية Wireless LANs. لم تستطع تجهيزات الشبكات المحلية اللاسلكية التعامل فيما بينها قبل عام 1997، إذ إن النظم المنتجة من قبل أحد المصنّعين لم تكن تتواصل مع تلك المنتجة من قبل شركات أخرى. إلا أن معهد المهندسين الكهربائيين والإلكترونيين IEEE بنى المعيار IEEE 802.11 في عام 1997، الذي وضع حداً لعدم التوافق. وتعمل حالياً معظم تجهيزات الشبكة المحلية اللاسلكية وفق هذا المعيار، المسمى Wi-Fi. ومع أنه لا يحدد جميع الجوانب في عمل الشبكة، فإن هذا المعيار يكفل قيام أنواع مختلفة من التجهيزات بالعمل بعضها مع بعض.

يواجه مصممو الشبكات Wi-Fi أربعة مصادر أساسية للقلق: تامين الوثوقية من خلال التأكد من عدم تعرض الخدمة إلى الانقطاع

يحب الناس النفاذ إلى الإنترنت بواسطة التقانة واي فاي Wi-Fi، فهم يستخدمون أكثر فاكثرت تقانة الاتصال اللاسلكي في مقاهي ستاربكس Starbucks وفي صالات المطارات والمنازل. تبدو التقانة Wi-Fi وكأنها لا تقاوم نظراً لأنها تجعل الشبكة متوافرة للمستخدمين في أي زمان ومكان. كما توفر وصلات اتصالات سريعة تسمح لرسائل البريد الإلكتروني بالظهور فوراً تقريباً، ولصفحات الويب بملء، وتلوين شاشات الحواسيب بسرعة - وكل ذلك مع إمكانية التنقل بحرية مما جعل الهواتف الخلوية منتشرة في كل مكان تقريباً.

تتوقع الشركة Pyramid Research، وهي شركة أبحاث في صناعة الاتصالات أن يبلغ العدد العالمي لستخدامي التقانة Wi-Fi نحو 271 مليون نسمة بحلول عام 2008، منهم 177 مليون نسمة في الولايات المتحدة وحدها. ويدعم المهتمون بالتقانة Wi-Fi حالياً أعمالاً عالمية مفعمة بالحياة في مجال التجهيزات، تقدر قيمتها بنحو ثلاثة بلايين دولار، وذلك حسب توقعات الشركة In-Stat التي تعمل في مجال أبحاث التسويق. إلا أن هذه الشعبية الكبيرة للتقانة لها مشكلاتها: إذ إن الازدياد المطرد في استخدام الشبكات Wi-Fi، قد يجعلها غير قادرة على التعامل مع حركة مرور البيانات المتنامية، مما يؤدي إلى أن تعاني أجهزة المستخدمين خدمة بطيئة وتأخيرات طويلة.

حتى عندما تعمل التقانة بشكل ملائم فإن النفاذ اللاسلكي ليس بالسرعة التي تقدمها وصلات السلكية العالية السرعة إلى الإنترنت، مثل الخطوط الرقمية للمشتريين DSL أو وصلات موديم الكابلات. ولا تأمل الإشارات الراديوية أن ترقى إلى سرعات الإرسال التي تقدمها الأسلاك النحاسية أو كوابل الألياف الضوئية fiber-optic cables. كما أن اتصالات التقانة Wi-Fi أو أي تقانة لاسلكية تعتمد الموجات الراديوية لن تستطيع أن توفر الدرجة نفسها من الأمان. إذ إنه يمكن التقاطها بمستقبلات الراديو المجاورة. إن العديد من هذه المشكلات كان واضحاً عام 1993، عندما قاد مؤلف هذه المقالة فريقاً من جامعة كارنيكي ميلون لبناء شبكة أندرو اللاسلكية Wireless Andrew، وهي أول شبكة محلية حاسوبية لاسلكية واسعة النطاق، والتي تعد السلف للشبكات Wi-Fi الحالية. وتغطي الشبكة أندرو التي انتهت العمل فيها عام 1999، كامل المدينة الجامعية [انظر: «الشبكات اللاسلكية الأرضية»، العلوم، العدد 11 (1998)، ص 66].



سوف يتوافر نفاذ أكثر
جودة إلى الشبكة بواسطة
الشبكات Wi-Fi عندما يعطى
المهندسون الشبكات اللاسلكية أدوات
«الذكاء» التي التي تحتاج إليها للتعايش
مع العدد المتزايد من مستخدمي أجهزة الهواتف
النقالة الذين يحاولون النفاذ إلى الإنترنت.

• يؤثر الإرسال اللاسلكي - أي يضعف، كلما زادت المسافة، حتى في حال عدم وجود عوائق (والتي يمكن أن تسبب ضعفاً إضافياً في قوة الإشارة الراديوية).
• يمكن للموجة الراديوية أن تعاني تشويه المسارات المتعددة بانعكاسها عن جدران الأبنية والمفروشات والتجهيزات أو أي أجسام تقع بالقرب من محيطها. تسلك الإشارات عندئذ مسارات متعددة من المرسل إلى المستقبل، وذلك بسبب وجود نسخ متعددة للإرسال نفسه تصل إلى المستقبل في أوقات مختلفة قليلاً عن بعضها، ويمكن للنسخ المتأخرة أن تفسد الإشارة المباشرة مسببة إشكالات لدى الجهة المستقبلة.

بسبب رداءة نوعية الاتصالات الراديوية، والمحافظة على الأداء، من خلال تجنب بطء سرعات الوصلات والتأخير الطويل، وتصميم شبكات نقاط نفاذ قادرة على أن تهيمن بشكل فعال على كامل منطقة التغطية، وتوفير الأمان ضد مستورقي السمع اللاسلكيين أو المستخدمين غير المخولين.
إن السبب الرئيسي في كون الشبكات المحلية اللاسلكية عرضة للمشكلات السابقة هو اعتماد هذه التقنية على الاتصال الراديوي، الذي يعاني إشكالات تشغيل ذاتية [انظر الإطار في الصفحة 15].
إن إشارة مستقبلة من قبل أحد الزبائن أو من نقطة نفاذ يمكن أن تضمحل بعدة طرق:



مهندسين من جامعات وشركات أخرى على حل مواطن ضعفها في مجالات الوثوقية والأداء والتصميم والأمان. وقد نتج من ذلك تجهيزات الجيل الثاني من التقنية Wi-Fi (المسماة التقنية Wi-Fi 2) الذكية في هذه المقالة)، وهي تدمج العديد من الإمكانيات الجديدة التي تهدف إلى التغلب على المشكلات الموجودة. وتعتمد هذه التحسينات على ذكاء أكبر في نظم التقنية Wi-Fi.

تجنب الاختناق المروري للمعلومات⁽¹⁾

ستحسن التقنية Wi-Fi الذكية تجربة المستخدم مع الشبكة اللاسلكية من خلال التعامل مع قضايا مثل الاختناق المروري للمعلومات، وتغير البيئة بالنسبة إلى إشارات الراديو والأمان، وذلك بطرق متعددة.

يحتل أن يسبب الاختناق المروري في الشبكة - أي عندما يطلب إلى نقطة نفاذ (AP) أن تخدم العديد من المستخدمين مما يجعلها محملة بشكل زائد - تأخيرا وانخفاضاً في مستوى الخدمة على نحو مؤثر. وبما أن نقطة نفاذ ما والمستخدمين لها مجبرون على تقاسم قناة راديو واحدة (جزء من طيف إشارات الراديو) وأن محطة واحدة فقط (نقطة نفاذ أو مستخدم) يمكن لها أن تقوم بالإرسال بنجاح في وقت معين، فإن تشابكاً يمكن أن يحصل. تحل الشبكات Wi-Fi حالياً الصدامات بين المحطات المتنافسة ضمن الخلية باستخدام تقنية تدعى "بروتوكول النفاذ المتعدد مع تجنب التصادم بواسطة ناقل الاستشعار" CSMA/CA⁽²⁾.

■ ينتج السبب الثالث لسوء استقبال الإشارات عن التداخل وتأثيرات الضجيج. وينشأ التداخل بسبب التضارب في الإرسال الراديوي. ويعد الفرن الذي يعمل بالموجات الميكروية (فرن الميكروويف) أحد المصادر الشائعة للتداخل في الشبكات Wi-Fi، إذ يمكن أن تصدر عنه إشارات راديوية متناثرة. ولحسن الحظ فإن أفران الميكروويف الحديثة معزولة بشكل جيد مما يحافظ على هذه الانبعاثات في حدودها الدنيا. أما الضجيج الراديوي فإنه يحدث في الطبيعة كما يأتي من مصادر أخرى كالآلات الكهربائية ومحركات السيارات وأصوات الفلوريسنت.

إن مهندسي الاتصالات معتمدون على التغلب على هذه الصعوبات، إلا أن طرقهم يمكن - لسوء الحظ - أن تؤخر سرعات الإرسال. فبينما توفر شبكات إيثرنت السلكية خدماتها بسرعات تراوح بين 100 و 1000 ميكايت في الثانية (Mbps)، فإن العديد من الشبكات المحلية اللاسلكية توظف المعيار IEEE 802.11، وبذلك فهي تعمل عند معدلات تصل إلى 11 ميكايت في الثانية. ويمكن للتجهيزات الأحدث التي تعمل وفق المعيارين IEEE 802.11a و 802.11g أن تصل سرعاتها إلى 54 ميكايت في الثانية، وهي بعد بطيئة مقارنة بعمل الإيثرنت. إلا أنه سيتم قريباً تقديم نسخة من المعيار IEEE 802.11 تسمح بالاتصال بسرعات تصل إلى 108 ميكايتات في الثانية.

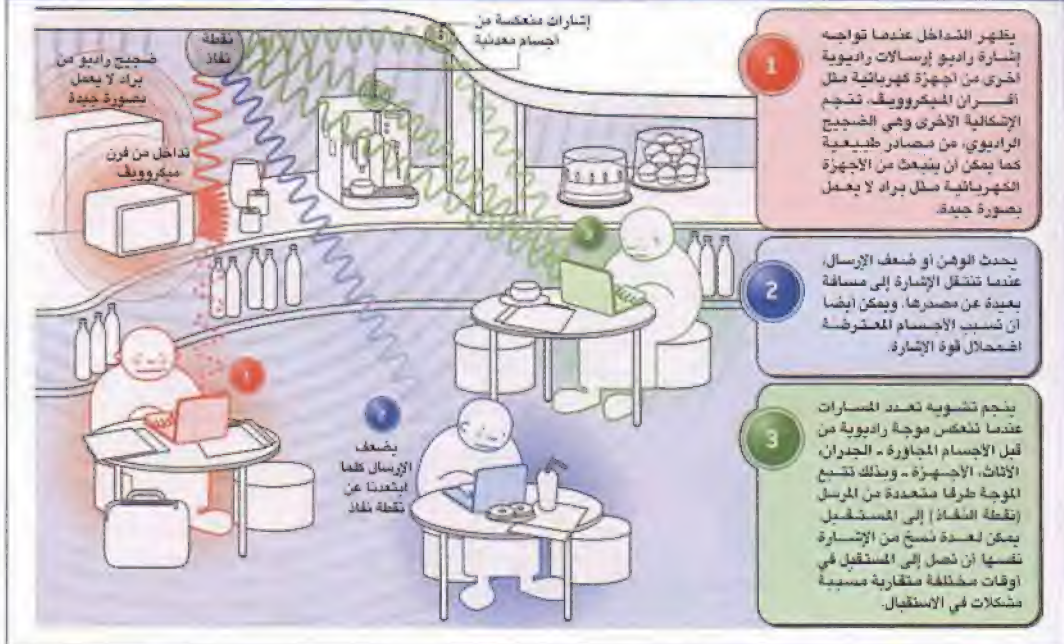
تبالغ هذه الأرقام في الحقيقة في معدلات سرعات الشبكات Wi-Fi التي تهبط ألياً من السرعة القصوى (11 أو 54 ميكايت) إلى معدل أدنى وذلك كي تتماشى مع ظروف توهين إشارات الراديو، وتعدد المسارات والتداخل والضجيج. لذلك فإن وصلة تتوافق مع المعيار IEEE 802.11b يمكن أن تنخفض سرعة نقلها من معدل نقل 11 ميكايت في الثانية إلى 5.5 أو 2 أو حتى إلى 1 ميكايت في الثانية. إضافة إلى ذلك، فإن البتات الإضافية overhead - أي البتات الرقمية التي تضاف إلى كل إرسال للتحكم في تشغيل الشبكة ولتخفيض الأخطاء - تقلص معدل النقل الفعلي بدرجة أكبر.

ومنذ إدخال التقنية Wi-Fi في جامعة كارنيكي ميلون وكذلك في الشركة إيرسبيس Airespace (وهي حالياً جزء من الشركة سيسكو سيسستمز Cisco Systems) عمل مؤلف المقالة وزملاؤه إضافة إلى

نظرة إجمالية/ الشبكات المحلية اللاسلكية⁽³⁾

- فيما تتنامى شعبية التقنية Wi-Fi - النفاذ اللاسلكي للإنترنت - فإن حركة مرور البيانات المتزايدة تهدد بإغراق الشبكات المحلية المعتمدة على الراديو (LANs) التي يستخدمها الناس للوصول مع الشبكة، مسببة تأخيرات غير مقبولة وفوضى في الخدمة. إن مجموعة من التحسينات التي تشمل الجيل الثاني أو التقنية Wi-Fi الذكية ستذهب بعيداً باتجاه حل هذه المشكلات.
- يلقى مصممو الشبكات Wi-Fi من أربع قضايا: تجنب الإرسال الراديوي الضعيف النوعية، ومنع السرعات البطيئة للوصلات والتأخيرات الطويلة، وتوفير التغطية لمناطق المستخدمين، وتوفير درجة أمان كافية. سوف تحقق التقنية Wi-Fi الذكية التي بدأت بالتشغيل جميع المهام السابقة وأكثر.

أعطال خلل الإرسال: كيف يمكن أن تخفق التقانة Wi-Fi



شبكات اللاسلكي المحلية عرضة للمشكلات لأن تقانيتها تقوم على إشارات الراديو التي تعاني معوقات عدة.

بافتراض أن «أحمد» و«سلوى» يستخدمان على سبيل المثال تجهيزات تعمل على القناة الراديوية نفسها لكنهما يوجدان في أجزاء مختلفة من بناء ما ويترابطان بنقاط فئات مختلفة. إذا استطاع نظام «أحمد» سماع نظام «سلوى» فإن الأول سوف يذعن في كل مرة يقوم نظام «سلوى» بالإرسال، مؤخراً بذلك رسائل تنتظر أن ترسل من قبل نظام «أحمد»، وبشكل مشابه، إذا استطاع نظام «سلوى» أن يسمع نظام «أحمد»، فإنه لن يكون قادراً على الإرسال كلما كان نظام «أحمد» يقوم بالإرسال، مما يؤدي إلى خفض مستوى خدمة الاتصال بها. تسترعي هذه المشكلة الانتباه بشكل خاص إذا كان أي من «أحمد» أو «سلوى» يستخدم أداة إرسال استقبال يدوية للصوت.

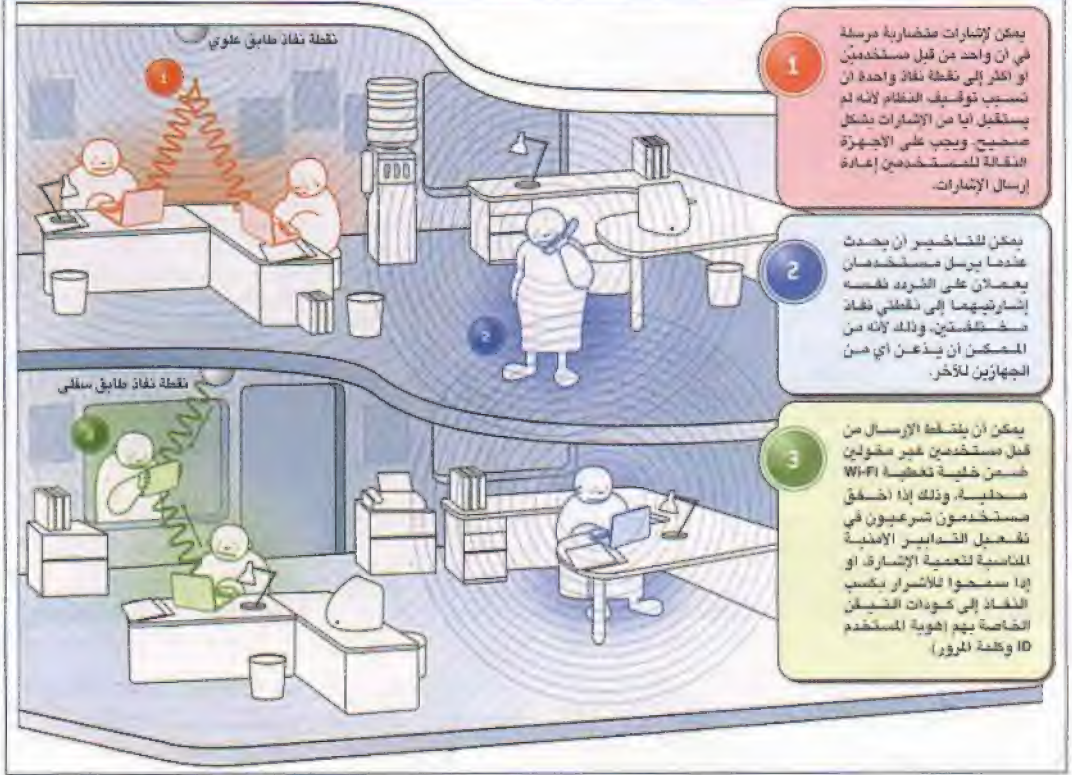
يستطيع المصممون تخفيف آثار الحالات السابقة من خلال تحديد مهام القنوات بدقة، واستخدام خاصية جديدة تدعى موازنة الحمل load balancing تمكن من تخفيض احتمال إرهاب نقطة النفاذ. وتعتمد موازنة الحمل على حقيقة كون الزبائن ضمن مجال اثنتين أو أكثر من نقاط النفاذ. وتحاول

وفقا للبروتوكول CSMA/CA، تُنصت كل محطة قبل إرسال أي إشارة، فإذا التقطت إشارة محطة أخرى تهم بالإرسال فإنها تنتظر حتى تصبح قناة الاتصال متاحة. وإذا حاولت محطتان الإرسال في الوقت نفسه تقريبا، فلن تسمع أي منهما الأخرى وسيتصادم الإرسالان. وعند حدوث ذلك لن يتم استقبال أي من الإرسالين بشكل صحيح ويجب عندئذ إعادة الإرسال. وكذلك عندما تستخدم العديد من الحواسيب نقطة نفاذ واحدة فإن التصادمات غالبا ما تحدث، مما يتطلب تعدد تكرار الإرسال ويواجه جميع المستخدمين تأخيرا زمنيا [انظر الإطار في الصفحة 16].

يمكن لشبكة التحميل الزائد لنقاط التفاضل أن تكون حادة في المناطق ذات الكثافة العالية من المستخدمين. والمرة الأولى التي عانها المستخدمون في جامعة كارنيجي ميلون كانت في القاعات الكبيرة للحاضرات وفي الصفوف الدراسية. فقد لاحظ فريق العمل بسرعة أن الأداء لن يستطیع حتى مجرد الاقتراب من أداء الشبكات السلكية في هذه الأماكن المكتظة، والتي تحوي في بعض الأوقات مئات من مستخدمي الحواسيب المتحركة.

يمكن أيضا للبروتوكول CSMA/CA أن يسبب صعوبات خاصة بين نقاط النفاذ البعيدة والأجهزة النقلة التي تعمل على القناة الراديوية نفسها. فإذا تمكنت نقطة نفاذ أو جهاز تقال من سماع مستخدم أو نقطة نفاذ بعيدين (على قناة مرافقة co-channel) فإنها سوف تدّعي كما لو أن المحطة المرسلّة تقع ضمن خليتها. وينتج هذا التراكب مع القناة المرافقة نوعا آخر من الانخفاض في الأداء. [انظر الإطار في الصفحة 16].

محّن الشبكات اللاسلكية



تغير المحيط بالنسبة إلى إشارات الراديو

يمكن للصعوبات المتعلقة بإشارات الراديو والمشار إليها سابقاً كالوهن attenuation وتعدد المسارات multipath والتداخل interference والضجيج noise، أن تخفّف بشكل جوهري من خلال تصميم جيد للشبكة. ويجب أن يقرر مصمم الشبكة Wi-Fi أين توضع نقاط النفاذ (AP) ضمن فضاء المنطقة المستهدفة ليؤمن التغطية والأداء اللائقين. كما يترتب على المهندسين اختيار القنوات التي يجب تخصيصها لنقاط النفاذ. ويحتاج المصمم إلى مراعاة خصائص المحيط بالنسبة إلى إشارات الراديو وهندسة المبني الذي سيتم فيه تركيب الشبكة المحلية اللاسلكية، والتي هي في الحقيقة شبكة راديوية ثلاثية الأبعاد.

يهدف مصمم الشبكة إلى تجنب الثغرات في التغطية عند انتقال مواقع نقاط النفاذ. إلا أنه في الوقت نفسه يجب أن يبعد بين نقاط النفاذ أكثر ما يمكن لتخفيض كلفة التجهيزات والتركيب. والسبب الآخر الذي يدعو إلى فصل نقاط النفاذ عن بعضها هو تداخل التغطية بين النقاط التي تعمل على القناة الراديوية نفسها (المعروف باسم التراكب بين القنوات) مما يخفض جودة الأداء. ويجري في الجزء الثاني من

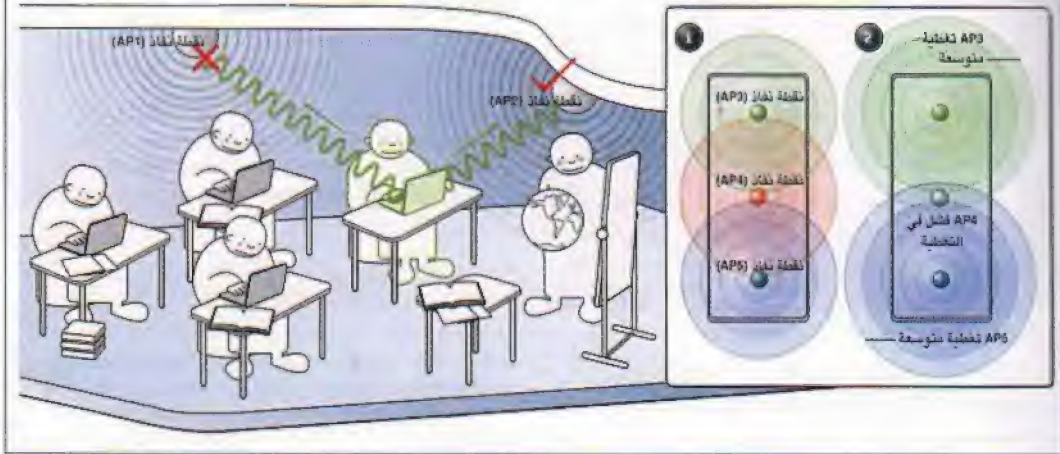
الشبكات Wi-Fi الذكية أن تخفف من الازدحام بتوزيع الزبائن على نقاط النفاذ بشكل منتظم تقريباً وبجهد لا تُغرق أيًا منها، مما يحقق انسيابية في الأداء بشكل كبير.

يطلق على وصلة بين مستخدم ونقطة نفاذ اسم الارتباط association. تستهل هذه العملية عندما يبدأ مستخدم ما طلب ارتباط. وعندما تتسلم نقطة نفاذ طلب ارتباط فإنها تستطيع أن تقبل هذا الطلب أو ترفضه. وعلى الرغم من أن المعيار IEEE 802.11 لا يخصص منهاجاً برمجياً لاتخاذ مثل هذا القرار، فإن الجيل الثاني لنقاط النفاذ (أو مفتاح التحويل الذكي الذي يتحكم فيها) يدرس الحمل الأني للنقطة قيد الاعتبار وتلك الأحمال الخاصة بنقاط النفاذ المجاورة، مما يساعد على اتخاذ القرار. ربما لا تكون نقطة نفاذ محملة بشكل كبير هي الأنسب للارتباط بمستخدم جديد. إذا تم تسليم طلب كهذا وكان النظام يعلم أن إحدى نقاط النفاذ غير محملة بشكل كبير وتقع في المجال الراديوي للمستخدم صاحب الطلب، فإن نقطة النفاذ قد ترفض طلب الارتباط مؤدية بالتالي إلى تحسين الأداء الكلي للشبكة [انظر الإطار في الصفحة المقابلة]. إن موازنة الأحمال، إضافة إلى تقنيات أخرى، سوف تسمح للشبكات Wi-Fi المستقبلية بتقديم أداء جيد حتى في الأمكنة ذات الكثافة العالية.

موائمت ذكية لشبكات Wi-Fi

يمكن للشبكة Wi-Fi الذكية أن تخفف من الأزدحام وذلك بتوزيع وصلات المستخدمين بشكل متساو بين نقاط نفاذ Wi-Fi المتاحة. قد تفعل ميزة موازنة الأحمال هذه [أسفل، في اليسار] عندما يحاول مستخدم الوصول مع نقطة نفاذ محملة بشكل كبير، مثل AP1. إذا فُين للنظام أن نقطة النفاذ الثانية محملة بشكل خفيف وتقع ضمن المجال الراديوي للمستخدم، فإن النظام سيقترح النفاذ إلى نقطة النفاذ الأولى ويوصل المستخدم مع نقطة النفاذ الثانية، مما

يحسن أداء التشغيل العام للشبكة. عندما تتغير الظروف بالنسبة إلى إشارات الراديو، فإن النظام Wi-Fi الذكي يمكن أن يعدل من حجم خلاياه بهدف التعويض. في هذا المثال، [أسفل، في اليمين]، توفر نقاط النفاذ 3، 4، 5 خدمة إلى فضاء داخلي (1). وعندما تفشل نقطة النفاذ AP4 (في الوسط) بشكل غير متوقع، فإنها تصدث ثغرة في التغطية اللاسلكية. وتتوسع الخليتان المجاورتان AP3، AP4 لتوفير التغطية فوق الثغرة (2).



عندما يستخدم العديد من الحواسيب نقطة نفاذ تحدث التصادمات ويواجه جميع المستخدمين تاخيرات عدة.

تكن مثالية. يضاف إلى ذلك، أن نقاط النفاذ تصاب بأعطال من وقت إلى آخر، ولكن وفقا للمواقع الخاصة لنقاط النفاذ ولأنواع الهوائيات المستخدمة، يمكن للتحكم الآلي في حجم الخلايا أن يغطي بصورة مؤقتة الثغرات التي تسببها أعطال نقاط النفاذ. [انظر الإطار في هذه الصفحة].

المهمة الديناميكية للقناة

يمكن أيضا لنقاط النفاذ أن تستخدم المهمة الديناميكية للقناة في الشبكات Wi-Fi الذكية لتغيير تردد قنوات الراديو أليا. يقوم المصممون عادة بتحديد مهام القنوات بحيث يكون التشابك بينها في حدوده الدنيا، وذلك استنادا إلى بيئة انتشار الموجات الراديوية. وتكون هذه القنوات بعد تحديد مهامها ساكنة في الظروف العادية. إلا أن البيئة يمكن أن تتغير ولذلك فإنه لا يوجد ضمان بأن هذه المهام المحددة ستبقى صالحة.

تحسن الشبكات Wi-Fi من الجيل الثاني البيئة الراديوية

عملية التصميم عادة تخفيض التراكب بين القنوات إلى حدوده الدنيا مما يقلل التأثير بين المحطات في خلايا قنوات متجاورة مختلفة. ورثة ميزة جديدة للقناة Wi-Fi الذكية، هي التحكم الآلي في حجم الخلية automatic cell-size control، تسمح للخلايا بالتوسع أو الانكماش كي تتوافق مع تغير شروط إشارات الراديو. كما يمكن لهذه القناة أن تعوض أي نقص في التصميم أو توقف في نقاط النفاذ.

حتى في أكثر الشبكات دقة في التشكيل فإنه من الممكن المحيط بالنسبة إلى إشارات الراديو أن يتغير من وقت إلى آخر. وهكذا، فإن الظروف الأساسية يمكن أن لا توجد. وعلى سبيل المثال، فعندما تُنقل بعض التجهيزات المعدنية في مصنع ما فإن تغيرا في الحالة الكهرومغناطيسية يمكن أن يقود إلى ثغرات في التغطية؛ وفي هذه الحالة، من المناسب توسيع أو تقليص أحجام الخلايا للقيام بالتعويض. ويمكن تعديل أحجام الخلايا من خلال تكيف قدرة الإرسال لنقاط نفاذ Wi-Fi. فإذا كانت التغييرات تعكس بدقة المحيط الراديوي الجديد فإن التغطية المستمرة للشبكة يمكن أن يُحافظ عليها في كل مكان من المساحة المستهدفة دون وجود تراكب بين الخلايا. (تستطيع نقاط النفاذ حاليا أن تعدل فقط في مستويات قدرة الإرسال الخاصة بها، لكننا بانتظار إضافات إلى معيار IEEE 802.11 يُسمح بموجيها لنقاط النفاذ أن ترشد مستخدميها لزيادة أو إنقاص قدرة إرسالها أيضا).

تتوافر في التحكم الآلي لحجم الخلايا إمكانية تخفيض الجهد المطلوب في تصميم الشبكات المحلية اللاسلكية. وتتبع هذه الميزة إمكانية تصميم سريع لوضع نقاط النفاذ في مواقع معقولة وإن لم



التقانة Wi-Fi مقابل التقانة WiMAX^(*)

ربما يكون العديد من القراء قد سمعوا بتقانة نفاذ لاسلكي جديدة تدعى WIMAX. فما هي هذه التقانة وما صلتها بالتقانة Wi-Fi؟

بينما تُستخدم التقانة Wi-Fi من قبل الأجهزة النقالة على نطاق واسع، فإن التقانة WIMAX توجّهت أساساً لوصلات الإنترنت الثابتة. إن مصطلح WIMAX هو من ابتكار مجموعة صناعية تسمى منتدى WIMAX.

وكما أن التقانة Wi-Fi تقوم على المعيار IEEE 802.11، فإن التقانة WIMAX تنسب إلى المعيار IEEE 802.16d، الذي جرى تبنيه عام 2004 لتعريف خدمة لاسلكية عالية السرعة إلى مواقع ثابتة عبر مسافات تصل إلى 50 كيلومتراً، في حين يبلغ المدى الأقصى للتقانة Wi-Fi بضع مئات من الأمتار. وأحد أسباب المدى الأكبر لنطاق التقانة WIMAX هو أنها تستطيع الإرسال بمستويات استطاعة أعلى وفقاً للحزمة الراديوية radio band، سوف تكون التقانة WIMAX قادرة على العمل عند معدل نقل 75 مليون بقة في الثانية، أي أسرع عدة مرات من خط رقمي لمستخدم Digital Subscriber Line (DSL) - إلا

أن هذه القدرة ستوزع كالمعاد بين العديد من المستخدمين. جرى التفكير في التقانة WIMAX لتوفر النوع نفسه من خدمة الإنترنت السريعة الممنوحة من قبل الخط DSL، وموديم الكابل وحتى نظم الكابلات البصرية. ولهذا السبب فإنها سميت أيضاً شبكة مدنية لاسلكية Wireless MAN [وتعني MAN «شبكة منطقة المدينة»].

على الرغم من أصول هذه التقانة، بدأ جمهور التقانة WIMAX في الآونة الأخيرة العمل على نسخة نقالة من المعيار IEEE 802.16e المعروفة باسم mobile WIMAX. تهدف هذه التقانة، على غرار Wi-Fi، إلى تقديم الخدمة إلى الحواسيب الحسنة والأجهزة النقالة الأخرى، إلا أنها سوف تغطي بمدى أعظم، من المحتمل أن يصل إلى بضعة كيلومترات.

حالياً، ثمة اهتمام كبير في الصناعة الحاسوبية بالتقانة WIMAX، إلا أنه لم يجر بعد تبني هذا المعيار. إضافة إلى ذلك، لم يتم التنبؤ بعد من قدرة هذه التقانة على كسب موطنٍ قدم في السوق. وقد ثبت في النهاية أن التقانة WIMAX لن تتنافس مباشرة مع التقانة Wi-Fi، وبسبب استطاعتها الأكبر ومداهما الأبعد، فإنها من المحتمل أن تتنافس مع خدمة الجيل الثالث (3G) للهواتف الخلوية في تقديم خدمة إنترنت نقالة، أولاً في مناطق حضرية ولاحقاً في أقاليم أوسع. ويعمل الجيل الثالث بشكل مشابه للتقانة WIMAX عند مستويات استطاعة أعلى من التقانة Wi-Fi. كما تغطي

محطاتها القاعدية مناطق أوسع من التقانة Wi-Fi.

من المحتمل في نهاية الأمر أن تتعايش الأنظمة الثلاثة: Wi-Fi و WIMAX والجيل الثالث معاً، بحيث يغطي كل منها الموضع اللائق الذي يخص به. ونظراً لأن التقانة WIMAX والجيل الثالث يعملان عند مستويات استطاعة أعلى ويزودان منحة نفاذ مختلفاً عن التقانة Wi-Fi، فإنهما لن يتعرضا إلى المشكلات نفسها ولن يحتاجا إلى الحلول نفسها التي جرى توصيفها في هذه المقالة.

سوف تجهز الحواسيب الحسنة والمساعدات الرقمية الشخصية (PDA) بشكل متزايد في المستقبل للعمل مع شبكات لاسلكية متعددة. إن حاسوباً حقيقياً يمكن أن يوصل بالنظام Wi-Fi في محيط المنزل والمكتب، لكنه يستخدم النظام WIMAX أو الجيل الثالث من الهواتف الخلوية في أماكن أخرى. وهكذا، فإن توليفات مثل Wi-Fi/WIMAX أو Wi-Fi/3G يمكن أن تصبح شيئاً مألوفاً في وقت ما، مع إمكانية وصل حواسيب مجهزة بالنظم السابقة بالشبكات الثلاث

الحالية، وستستطيع تقنية المهمة الديناميكية للثلاثة أن تحسن أيضاً من الأداء بالسماح لنقاط النفاذ بأن تختار قنوات لا تعاني الضجيج المحلي أو التداخل.

الأمن اللاسلكي^(**)

قد يكون الأمن هو مشكلة التقانة Wi-Fi الأكثر عرضة للنقاش. فالمستخدمون لا يرغبون في أن يراقب الغرباء تبادلهم للبريد الإلكتروني أو أن يحصل هؤلاء على نفاذ غير مسموح به إلى نظمهم [انظر الإطار في الصفحة 16]. وقد قدم المعيار الأساسي IEEE 802.11 ميزة تدعى الخصوصية WEP^(*) للحصول على إرسال معنّى encryption، والتعمية هي طريقة في تحويل دق من البتات إلى دق آخر (معنّى) بحيث يمكن استعادة الدق الأساسي من البتات باستخدام مفتاح، وهو التشفير الخاص الذي استخدم أساساً من أجل التكويد: إلا أن العديد من

بدأ المستخدمون يلاحظون أن الشبكات Wi-Fi أخذت تتصرف كمثيلاتها السلكية.

خلال فواصل زمنية ومن ثم تقوم ديناميكياً بإعادة تحديد مهام القنوات وفقاً لذلك. تزيل هذه الإمكانية الحاجة إلى إجراء تحديد مهام القنوات خلال عملية التصميم الأساسية، فإذا أزيل الأثاث من حين مكتب ما على سبيل المثال، فإن ذلك قد يتسبب بتوسيع منطقة التغطية. وإذا نجم عن هذا التوسع تضارب مع تغطية خلية أخرى تعمل على القناة نفسها، فإن الأداء يمكن أن ينخفض بشكل حاد. وقد يكون من المناسب في هذه الحالة تحويل الخلية الثانية إلى قناة أخرى، وتؤمّن خوارزميات تبديل القنوات تخفيض تداخل التغطية بين القنوات إلى حدوده الدنيا في كامل الشبكة.

تغفل النظم Wi-Fi الذكية عادة خوارزمية تبديل القنوات بصورة دورية لضمان كون تخصيص القنوات يعكس وضع البيئة الراديوية

مصنعو تجهيزات التقنية Wi-Fi الذكية*

اسم الشركة	مكانها	موقعها على الويب
Aruba Networks	Sunnyvale, Calif.	www.arubanetworks.com
Cisco Systems/ Airespace*	San Jose, Calif.	www.airespace.com
Cisco Systems/ Aironet*	San Jose, Calif.	www.cisco.com
Columbus Networks	Waltham, Mass.	www.columbus.com
Extreme Networks	Santa Clara, Calif.	www.extremenetworks.com
Symbol Technologies	Holtsville, N.Y.	www.symbol.com
Trapeze Networks	Pleasanton, Calif.	www.trapezenetworks.com

* قدمت الشركة سيكو سيمبلز حديثاً Airespace، وهي شركة Wi-Fi ذكية. إن منتج سيكو المتواتر حالياً يسمى Aironet، يجمع ميزات التقنية Wi-Fi الذكية.

ضمن أو بالقرب من منطقة تغطية شبكة لاسلكية، (يمكن للدخلاء السلكيين أن يهاجموا عن بُعد). وهذا ما أدى إلى أن تستخدم بعض تجهيزات التقنية Wi-Fi تقنية تحديد الموقع لكشف وجود محطة معادية، وباستخدام هذه الميزة يمكن للشبكة أن تتعقب المحطة المسينة وأن تزليها.

بدأت الشبكات اللاسلكية تتصرف بشكل مشابه لمثلثاتها السلكية مع تطور التقنيات Wi-Fi الذكية، كما بدأ مستخدمو اللاسلكي بملاحظة الفرق. إلا أنه يتبقى الكثير مما يجب عمله في هذا السياق، كما تتواصل الأبحاث التي ستأخذ التقنية Wi-Fi بعيداً. ويجري العمل حالياً، على سبيل المثال، لابتداء أداة متقلة ألياً ضمن الشبكة Wi-Fi. ستسمح هذه الميزة لمُشغلي الشبكة باكتشاف سريع لموقع أناس (مثل الأطباء في مستشفى ما) أو أغراض (متنجات تتحرك ضمن خط تجميع في مصنع ما) كلما تطلب الأمر ذلك.

تتطور التقنية Wi-Fi وتقنيات الاتصالات اللاسلكية الأخرى بشكل مطرد. وفي الولايات المتحدة ومناطق أخرى، يزداد باستمرار عدد الأشخاص الذين يتخلون عن خدمة الهاتف الأرضي، مفضلين الهواتف الخلوية اللاسلكية. وتنشئ الحكومات البلدية، مثل بلدية مدينة فيلادلفيا، مناطق تغطية بالشبكات Wi-Fi تشمل المدن بأسرها. وفي الوقت نفسه، فإن استخدام الجيل الثالث من الهواتف الخلوية، في ازدياد واضح، وقد يكون لتقانة جديدة تسمى WiMAX [انظر الإطار في الصفحة المقابلة] وجود قوي في السوق، إذ إننا نعيش في عالم لاسلكي بصورة مطردة.

Smart Wi-Fi Equipment Makers (4)

المؤلف

Alex Hills

هو أستاذ الهندسة والسياسة العامة ومهندسة الكهرو، والحاسوب في جامعة كارنيجي ميلون. وقد عمل أيضاً نائباً للرئيس ومديراً عاماً للمعلومات فيها. تركز جهوده في البحث والتدريس على تقنية اللاسلكي وسياسة الاتصالات. طور «هبيزة» شبكة أندرو اللاسلكية، وهي شبكة محلية لاسلكية مبكرة، وأخترع Rollabout، وهي أداة لاسلكية صممها وسوقها الشركة Heliom Networks.

مراجع للاستزادة

- Wireless Andrew. Alex Hills in *IEEE Spectrum*, Vol. 36, No. 6, pages 49-53; June 1999.
- Large-Scale Wireless LAN Design. Alex Hills in *IEEE Communications*, Vol. 39, No. 11, pages 98-107; November 2001.
- Real 802.11 Security: Wi-Fi Protected Access and 802.11i. John Edney and William Arbaugh. Addison-Wesley Professional, 2003.
- Rollabout: A Wireless Design Tool. Alex Hills and Jon Schlegel in *IEEE Communications*, Vol. 42, No. 2, pages 132-138; February 2004.
- Radio Resource Management in Wireless LANs. Alex Hills and Bob Friday in *IEEE Communications*, Vol. 42, No. 12, pages S9-S14; December 2004.
- Wireless Networks First-Step. Jim Geier. Cisco Press, 2004.
- The IEEE 802.11 Handbook: A Designer's Companion. Second edition. Bob D'Hara and Al Petrick. IEEE Press, 2005.
- 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide. Second edition. Matthew Gast. O'Reilly, 2005.

Scientific American, October 2005

مستخدمي اللاسلكي لا يكلفون أنفسهم عناء تفعيل ميزة التعمية ومن ثم فإنهم ينفذون إرسالاتهم «بوضوح» مما يسمح باختراق أسهل. حتى عند استخدام الخصوصية WEP، وجد أناس أذكاء ينشرون التحدي والبرهنة على قابلية الشبكات اللاسلكية للاختراق. طرقاً لاكتشاف المفاتيح ومن ثم كشف الرسائل. في عام 2001، أصبح من المعلوم على نطاق واسع أن الخصوصية WEP لها بعض العيوب، ومنذ ذلك الوقت عمل المطورون على تدعيم أمن الشبكات Wi-Fi.

والسماع بالنفاذ هو أيضاً قضية مهمة في الشبكات Wi-Fi، حيث يمكن للمستخدمين التعريف بأنفسهم من خلال عملية تيقن تتضمن هوية المستخدم user ID وكلمة سروره، ولكن إذا كان بمقدور أناس مؤذنين استراق النظر بسهولة على رسائل الآخرين فإنه من الممكن لهم التطفل على هوية المستخدم وكلمة المرور ومن ثم التمكن من النفاذ إلى الشبكة.

في عامي 2003 و 2004 أنهت مجموعتا العمل الخاصتان بالمعيار IEEE 802.11 وتحالف Wi-Fi Alliance Wi-Fi (وهي المجموعة الصناعية التي صكت المصطلح Wi-Fi)، العمل على معاييرهما ذات العلاقة: IEEE 802.11i، النفاذ المحمي في الشبكات Wi-Fi Protected Access (WPA)، والتي وضعت بموجبها تدابير أمنية أكثر صرامة، تتضمن تقنيات تعمية محسنة وطرقاً أكثر أمناً في جوهرها لنقاط النفاذ والمستخدمين ليصلوا إلى المفاتيح اللازمة للتعمية وكشف التعمية.

يوفر النفاذ WPA (الذي يستخدم معياراً آخر هو IEEE 802.1X) عملية استيقان أكثر قوة بكثير مما كان متوافراً من قبل. وتحسن هذه المجموعة من المعايير وبشكل كبير الأمن الكلي للشبكات Wi-Fi الذكية.

وقد أضاف بعض مصنعي تجهيزات التقنية Wi-Fi تدابير أمنية أخرى أيضاً، منها - وعلى سبيل المثال - كشف الدخلاء intrusion detection. وتختلف الشبكات اللاسلكية عن السلكية في أن أدوات استراق السمع (وحتى نقاط النفاذ) يمكن أن توجد في أي مكان

البيولوجيا العصبية للذات⁽¹⁾ لقد بدأ البيولوجيون بتحليل الكيفية التي يحدث بها الدماغ حسا ثابتا في ذات صاحبه.

(C) زيمر

الذات شيء خاص⁽²⁾

استهل عالم النفس الأمريكي «وليام جيمس» الدراسة الحديثة في هذا الميدان في عام 1890، وذلك في كتابه الفصيل بعنوان *مبادئ علم النفس* The Principles of Psychology. وقد اقترح قائلا: «دعونا نبدأ بـ «الذات» في أرحب معاني قبولها، ثم نتابعها حتى أدق صيغها وأرقها». لقد جادل «جيمس» بأن الذات، على الرغم من استشعار كونها شيئا متوحدًا، لها عدة وجوه تعتمد من وعي المرء بجسمه الخاص إلى ذكرياته عن ذاته إلى إحساسه بالتوافق مع مجتمعه: بيد أن «جيمس» اعترف بأنه احتار فيما يخص الكيفية التي يولد فيها الدماغ هذه الأفكار المتعلقة بالذات ويحولها إلى «أنا» ego واحدة.

ومنذ ذلك الحين، وجد العلماء بعض الدلائل العبرة من خلال تجارب نفسية psychological. فعلى سبيل المثال، وجه باحثون مهتمون بذاكرات الذات إلى بعض المتطوعين أسئلة تخص ذواتهم وكذلك أسئلة تخص أناسا آخرين. وفي مرحلة لاحقة أخضع الباحثون أولئك المتطوعين لامتحان خاطف كي يروا درجة تذكرهم الأسئلة. لقد نجح هؤلاء على الدوام في تذكر الأسئلة التي تتعلق بذواتهم أكثر من نجاحهم في تذكر الأسئلة التي تتعلق بالآخرين. ويقول «هيزرتون»: «حينما ندمع الأشياء بأننا ذات صلة بالذات فإننا نتذكرها بشكل أفضل».

لقد تغيرت الأمور، فالיום يخوض «هيزرتون» هذه المسألة بشكل مباشر، جنباً إلى جنب مع عدد متنام من العلماء، ساعين إلى استنتاج كيفية انبثاق الذات من الدماغ. ففي السنوات القليلة الماضية ابتدؤوا يحددون فعاليات دماغية معينة يمكن أن تكون أساسية لتعيين نواح مختلفة من استشعار الذات self-awareness. وهم يحاولون الآن تعيين الكيفية التي تسبب بها هذه الفعاليات الشعور الموحد الذي يملكه كل منا حول كونه كيانا واحداً. وما هو هذا البحث يعطي اليوم دالات clues حول الكيفية التي يمكن أن تكون الذات قد تطورت فيها لدى أسلافنا من فصيلة الإنسان (البشرييات) hominid. ويمكن أن يفيد هذا البحث العلماء حتى في معالجة مرض الزايمر واضطرابات أخرى تفسد إدراك الذات، وفي بعض الحالات تخريبه تماماً.

إن أوضح شيء عن نفسك هو ذاتك your self. ويقول «T. هيزرتون» [وهو عالم نفس في جامعة دارتموث]: «إنك تنظر إلى جسمك فتعرف أنه يخصك أنت»، ويتابع قائلا: «تعرف أنها يدك التي تتحكم فيها حينما تبسطلها. وعندما تكون لديك ذكريات فإنك تعرف أنها تخصك ولا تخص أحداً آخر. وعندما تستيقظ في الصباح لا يكون عليك أن تستجوب نفسك طويلاً عن تكون أنت».

قد تكون الذات واضحة، بيد أنها لغز كذلك. «هيزرتون» نفسه نقر من دراستها سنوات عديدة، مع أنه كان يستكشف موضوعي ضبط النفس وتقدير الذات وغيرهما من قضايا ذات الصلة، منذ كان طالبا في الدراسات العليا. ويشرح قائلا: «لقد انصبت اهتماماتي جميعها على الذات ولكن ليس على الموضوع الفلسفي لماهية الذات. وقد تحاشيت التأملات حول ما تعنيه الذات، أو لعلي حاولت ذلك.»

نظرة إجمالية/ دماغي وأنا⁽³⁾

- تستكشف أعداد متزايدة من المختصين بالبيولوجيا العصبية كيف يتدبر الدماغ تشكيل حس بالذات وصور ذلك الحس.
- تم العثور على بضع مناطق دماغية تستجيب للمعلومات المتعلقة بذات المرء على نحو يختلف عن استجابتها لذوات الآخرين، حتى من كان من هؤلاء الآخرين مالوفا جدا. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تكون مثل هذه المناطق أكثر نشاطا حينما يفكر الناس في صفاتهم المميزة أكثر من تفكيرهم في خصائص الأفراد الآخرين. وقد تكون هذه المناطق جزءا من شبكة للذات self-network.
- بالنسبة إلى البعض، هدف هذا البحث هو التوصل إلى فهم أفضل للخرف وإيجاد معالجات جديدة له.

رؤية شخص يلმسه آخر أدت بها إلى الشعور وكان شخصا يلمسها في الموضع نفسه من جسمها. لقد ظنت أن كل إنسان لديه تلك الخبرة الإحساسية.



أذية دماغية جراء نوية قلبية وفقدان قدرته على تذكر أي شيء كان قد فعله أو خبره قبل الأذية. لقد اختبر «كلاين» إدراك «B.D.» لذاته عن طريق إعطائه قائمة من ستين سجية وسأله إن كانت تنطبق عليه نوعا ما، أو تنطبق عليه بدرجة جيدة، أو تنطبق عليه على نحو مؤكد، أو أنها لا تنطبق عليه على الإطلاق. ومن ثم عرض «كلاين» الاستبانة ذاتها على ابنة «B.D.» وطلب إليها أن تصف والدها فيما يتعلق بذلك السجيا. فجاءت اختياراتها مترابطة إلى حد كبير باختيارات والدها، وهكذا يكون «B.D.» قد احتفظ بإدراك ذاته بدون الحاجة إلى ذاكرات عن يكون هو.

دالات من الأدمغة السليمية

وفي السنوات الأخيرة انتقل العلماء إلى ما هو أبعد من الأدمغة المصابة بأذيات وتناولوا الأدمغة السليمية، وذلك بفضل ما أحرزه التصوير الدماغي من تقدم. ففي الكلية الجامعية بجامعة لندن قام الباحثون بإجراء مسح دماغي brain scans لحل لغز كيفية شعورنا بذواتنا. وفي هذا الصدد تقول «J.S.» بلاكهور «من UCL»: «هذه هي النقطة الأولى الأساسية جدا في الذات على المستوى القاعدي»

حينما تصدر أدمغتنا أمرا بتحريك جزء من أجسامنا، يجري إرسال إشارتين، تذهب إحدهما إلى المناطق الدماغية التي تتحكم في الأجزاء المعنية من الجسم التي يجب تحريكها. في حين تذهب الأخرى إلى المناطق الدماغية التي ترصد الحركات. وتستدرك «بلاكهور» قائلة: «إنني اعتبرها (نسخة مبلغة إلى...)» واردة في ذيل بريد إلكتروني: إنها المعلومة نفسها مرسله إلى مكان آخر»

لقد جادل بعض علماء النفس بأن هذه النتائج تعني ببساطة أننا أكثر ألفة لنواتنا من ألفة الآخرين لنا، واستنتج البعض بدلا من ذلك أن الذات self هي شيء خاص، يستخدم فيه الدماغ منظومة مختلفة أكثر فاعلية في معالجة المعلومات بخصوص الذات. بيد أن الاختبارات النفسية لم ترجح فائزا من هذه التفسيرات المتنافسة بسبب كون الفرضيات، في حالات عديدة، قد قدمت التنبؤات نفسها بخصوص النتائج التجريبية. هذا وقد ظهرت دالات إضافية من أنبيات تؤثر في بعض مناطق دماغية تضطلع بسيرورة الذات. ولعل الحالة الأكثر شهرة في هذا الصدد هي حالة «P.B.» كيج، الذي كان رئيس عمال في بناء سكة الحديد في القرن التاسع عشر. كان يقف في المكان الخاطئ حين نسفت قذيفة من الديناميت شظايا حديد عبر الهواء فاخترقت شظية رأس «كيج» الذي ظل على قيد الحياة رغم ذلك.

لكن أصدقاء «كيج» لاحظوا تغيرا في سلوكه. فقبل الحادث كان «كيج» عاملا كفتوا ورجل أعمال فطنا. وبعد الحادث أصبح لا يعرف حرمة ولا يحترم الآخرين وقلما يخطط لمستقبله، حتى قال فيه هؤلاء: «إنه لم يعد هو «كيج»».

رؤية حالات مثل حالة «كيج» بيّنت أن الذات شيء آخر غير الوعي. فالتاس يمكن أن يكون لديهم حس معطل بذواتهم من دون أن يكونوا فاقدين للوعي. وقد كشفت أنبيات الدماغ كذلك أن الذات مبنية بطريقة معقدة. وعلى سبيل المثال، قدم «S.» كلاين [من جامعة كاليفورنيا في سانتا باربارا] ورسلوه في عام 2002 تقريراً عن حالة فقدان ذاكرة لشخص دعي باسم «B.D.»، وكان يبلغ من العمر 75 عاما حين عانى

ومن ثم تستخدم أدمغتنا هذه الشخبة للتنبؤ بتوقع الإحساس الذي سيولده هذا الفعل، فومضة العين تجعل الأشياء تظهر متحركة عبر حقل رؤيانا، ويجعلنا التكلم نسمع صوته، كما أن الوصول إلى قبضة الباب يجعلنا نشعر باللمسة البارزة لنحاس القبضة. فإذا لم يضاه الإحساس الفعلي الذي نستقبله نبوتنا تماما، فإن أدمغتنا ستعرف الفرق. ويمكن لعدم المضاهاة هذا أن يجعلنا نبذل المزيد من الانتباه أو يستحثنا على تعديل أفعالنا وصولا إلى النتائج التي نريدها.

أما إذا لم يضاه الإحساس نبوءاتنا على الإطلاق، فإن أدمغتنا تنسبها لشيء آخر غير نواتنا. وقد وثقت «بلاكهور» وزملاؤها هذا التغيير من خلال مسح scanning أدمغة مفحوصين أخضعهم للتتويم المغنطيسي. فحينما أخبر الباحثون هؤلاء بأن أذرعهم جرى رفعها بواسطة حبل أو بكرة، رفع المفحوصون أذرعهم؛ أما أدمغة المفحوصين فقد استجابت وكان أحدا آخر يقوم برفع أذرعهم هذه، وليس هم من يقومون بذلك.

يمكن لعجز مشابه في إدراك الذات أن يكمن وراء بعض أعراض داء الفصام. فبعض المفحوصين الذين يعانون داء الفصام

هل هو مجرد وجه ظريف آخر؟

صور تحولت فيها صورة وجه «W» إلى صورة وجه «كانانيكا» تدريجياً وعرضوها في ترتيب عشوائي (إلى الأسفل). وطلبوا إلى «W» أن يجيب مع كل صورة عن السؤال الآتي: هل هذا هو أنا؟ ثم كرروا العملية مشترطين أن يجيب مع كل صورة عن السؤال الآتي: هل هذا هو «صايكه» (أو المقصود «كانانيكا»)؟ وأعادوا الاختبار ذاته باستخدام وجوه أناس آخرين يعرفهم «W» جيداً.



«كانانيكا»



«W»

لقد وجدوا أن نصف الكرة المخية الأيمن لدى «W» كان أكثر نشاطاً حينما تعرف وجوه آخرين بالفهم، لكن نصف كرتة المخية الأيسر كان الأكثر نشاطاً حينما رأى نفسه في الصور. إن هذه الاكتشافات تؤيد فرضية كون الذات شيئاً خاصاً. ومع ذلك، فمما زالت القضية غير محسومة وبعيدة عن الحل؛ إذ إن كلا المعسكرين لديه أدلة في صالحه.

«R» رستنك، مدير تحرير مجلة ساينتيفيك أمريكان

حسبما يذكر «C» زيمر في هذه المقالة، فإن الباحثين لا يتفقون على ما إذا كان الدماغ يعالج الذات على نحو خاص، بحيث يعالج المعلومات المتعلقة بالذات بشكل يختلف عن معالجة المعلومات المتعلقة بالذات الأخرى من الحياة. ويجادل البعض بأن أجزاء الدماغ التي يتغير نشاطها حينما نفكر بذواتنا إنما تفعل هذا فقط لأننا نألف ذواتنا، وليس لكون الأمر يتعلق بهذه الذات على وجه

التخصيص. وكل شيء آخر كان مألوفاً سوف يبعث الاستجابة نفسها. وفي دراسة تنصدي لهذه المسألة، قام الباحثون بتصوير رجل أعطي اسم «W». وكان نصف الكرة المخية لهذا الشخص يعملان بشكل مستقل (أحدهما عن الآخر) إثر جراحة قطعت فيها الاتصالات بينهما (بغرض معالجة صرع متعب). وكذلك صور هؤلاء الباحثون شخصاً مألوفاً جداً لذلك الرجل واسمه «M». كانانيكا، وهو باحث معروف جيداً في مجال الدماغ صرف أوقاتها طويلاً مع «W». ومن ثم قاموا بإنشاء سلسلة



10 في المئة
«W»

تحول شكل الوجه

90 في المئة
«W»

لديهم تلك الخبرة.»

أجرت «بلاكور» مسحاً للدماغ السيدة «C» وقارنت استجاباتها باستجابات متطوعين أسوياء. وهنا وجدت «بلاكور» أن المناطق الحساسة للمس لدى السيدة «C» استجابت بشكل أكثر قوة لمشهد إنسان آخر يجري لمسه مقارنة بالمناطق الحساسة للمس عند الفحوصين الأسوياء، يضاف إلى ذلك أن الموضع الذي يطلق عليه اسم الجزيرة الأمامية anterior insula (والوجود على سطح الدماغ غير بعيد من الأذن) غداً فعالاً لدى السيدة «C» مع دون أن يحدث ذلك لدى المتطوعين الأسوياء. وترى «بلاكور» دلالة قيمة في كون الجزيرة الأمامية هذه قد أظهرت فعالية في مسح دماغية لدى أناس عرضت عليهم صور لوجوههم هم أو كانوا يفكرون ذكرياتهم. وقد تساعد الجزيرة الأمامية على توصيف معلومات تتعلق بذواتنا بدلاً من أن تتعلق بالآخرين. وفي حالة السيدة «C»، تقوم الجزيرة الأمامية بهذا

خبرات الآخرين، ونذكر على سبيل المثال، أن رؤيتنا شخصاً يتعرض إلى وكز مؤلم، إنما تستثير عصبونات في منطقة الألم الخاصة بأدمغتنا نحن. وقد وجدت «بلاكور» وزملاؤها أن رؤية شخص يلمسه شخص آخر يمكن أن تنشيط العصبونات المراتية هذه.

لقد عرض هذا الفريق على مجموعة من المتطوعين أقلاماً فيديو لأناس آخرين جرى لمسهم في الجانب الأيسر أو الأيمن من الوجه أو الرقبة، فاثارت هذه الأقدام استجابة في بعض مناطق أدمغة المتطوعين تماثل ما حدث حين جرى لمس المتطوعين في الأجزاء المقابلة من أجسامهم. هذا وكانت «بلاكور» استلهمت القيام بهذه الدراسة حينما قابلت سيدة بلغت من العمر 41 عاماً دعت بالرمز «C». وكانت قد تقصصت هذا التطابق الإحساسي مع الغير بصورة مذهلة؛ ذلك أن منظر شخص ما أثناء لمسه كان يجعل السيدة «C» تشعر كأن أحداً لمسها في المكان نفسه من جسمها هي. وتعبق «بلاكور» على ذلك قائلة: «كانت هذه السيدة تظن أن جميع الناس

يصبحون مقتنعين بأنهم لا يستطيعون التحكم في أجسامهم هم. وتوضح «بلاكور» ذلك قائلة: «إنهم يتوصلون إلى مسك كأس ما، وتكون حركتهم سوية تماماً، ولكنهم يقولون (إنهم ليسوا هم من فعل ذلك، بل تلك الآلة الموجودة هناك، فهي التي تحكمت فينا وجعلتنا تفعل ذلك).»

توحي الدراسات على المصابين بالفصام أن التنبؤات السنية لأفعالهم قد تكون مصدر أوهامهم. فبسبب عدم مضاهاة إحساساتهم لتنبؤاتهم ينبع شعور بأن شيئاً آخر هو المسؤول. وكذلك يمكن أن تخلق التنبؤات السنية ما يشعر به بعض مرضى الفصام من هلوسات سمعية، فلكون هؤلاء المرضى غير قادرين على التنبؤ بأصواتهم الداخلية، فإنهم يظنونها تعود لأحد غيرهم.

إن أحد أسباب كون حس الذات هشاً بهذا القدر قد يكمن في أن العقل البشري يحاول باستمرار الدخول إلى عقول الناس الآخرين. فقد اكتشف العلماء وجود ما يسمى عصبونات مرآتية mirror neurons تصاكي

مكونات شبكة للذات^(*)

إن المناطق الدماغية الموضحة أدناه هي من بين المناطق التي جرى إنشاؤها (حسب بعض الدراسات على الأقل)، كمشاركة في تظهير أو استرجاع المعلومات المتعلقة خصيصاً بالذات أو بالمحافظة على شعور متعاضد بالذات خلال جميع المواقف. ونذكر للإيضاح أن المشهد أدناه يحدد نصف الكرة المخية الأيسر فيما عدا منطقة الجزيرة الأمامية التي تخصصه.



القشرة المخية أمام الجبهية الوسطى medial prefrontal cortex. إنها بقعة من العصبونات تقع في الشق بين نصفي الكرة المخية خلف العينين مباشرة. وقد لفتت المنطقة نفسها الانتباه في دراسات على الذات أجرتها مختبرات أخرى. ويحاول «هيدرتون» في الوقت الحاضر استنتاج الدور الذي تؤديه هذه المنطقة.

يقول «هيدرتون»: «إنه لمن السخيرة أن نفكر بوجود أي بقعة في الدماغ تكون هي الذات.» وبدلاً من ذلك، فهو يشتهي في إمكانية أن تربط هذه الباحة area جميع المذكرات والذاكرات التي تساعد على توليد حس

كانت كلمة النعت هذه ظهرت بأحرف كبيرة. ومن ثم قارن هؤلاء الباحثون أنماط الفعالية الدماغية التي أحدثها كل نوع من الأسئلة، فوجدوا أن الأسئلة التي تتعلق بالذات قد نشطت بعض المناطق الدماغية، في حين أن الأسئلة التي تتعلق بالآخرين لم تنشط تلك المناطق. وقد رجحت نتائجهم فرضية كون «الذات شيئاً خاصاً» على النظرة التي ترى في «الذات شيئاً مألوفاً».

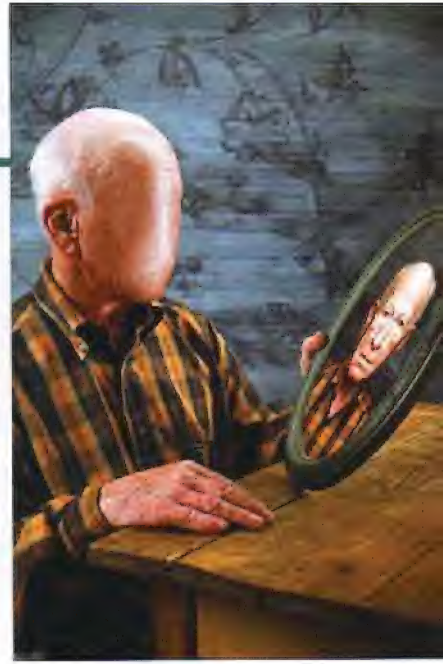
قاسم مشترك^(**)

ثمة منطقة وجدها فريق «هيدرتون» مهمة للتفكير بذات امرئ ما، ألا وهي

التخصص للمعلومات على نحو خامل. وكذلك ألفت مسوح الدماغ الضوء على نواح أخرى من الذات، فقد كان «هيدرتون» وزملاؤه [في دارتموث] يستخدمون هذه التقنية للتدقيق في الكيفية التي يتذكر بها الناس المعلومات حول ذاتهم على نحو أفضل من تذكرهم لذوات الآخرين؛ إذ قام هذا الفريق بتصوير أدمغة متطوعين كانوا يشاهدون سلسلة من كلمات النعوت adjectives. ففي بعض الحالات سأل الباحثون المبحوثين إذا ما كانت إحدى هذه الكلمات تنطبق عليهم أنفسهم. وفي حالات أخرى سألهم إذا ما كانت إحدى كلمات النعوت هذه تنطبق على «بوش». وفي حالة ثالثة سألهم إن

Components of A Self-Network (*)
A Common Denominator (**)

قد يحدد المسح الدماغي ذات يوم ما إذا كان الخرف قد أتلف الذات لدى المصاب به.



بعدة أنواع من التفكير.

يقول «هيزرتون»: «إن معظم الوقت الذي نسترسل أثناءه في أحلام اليقظة، نقضيه في التفكير في شيء حدث لنا أو نفكر خلاله في غيرنا من الناس. ويتضمن كل ذلك تدقيقاً في الذات self-reflection».

وثمة علماء آخرون يدرسون الشبكات الدماغية التي يمكن أن تنظمها القشرة الخفية أمام الجبهية الوسطى، إذ يستخدم M. ليبيرمان [من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس] مسحاً دماغياً لحل لغز «B.D»، وهو الرجل الذي بقي يُعرف نفسه على الرغم

من معاناته فقدان الذاكرة (النساوة)، amnesia فقد قام «ليبيرمان» وزملاؤه بإجراء مسح لأدمغة مجموعتين من المتطوعين، تألفت إحداهما من لاعبي كرة قدم وتألفت الأخرى من ممثلين مُرتجلين improvisational actors ثم كتب هؤلاء الباحثون قائمة كلمات لكل من المجموعتين ذات صلة بإحدى المجموعتين. (بالنسبة إلى لاعبي كرة القدم: رياضي، قوي، سريع؛ وبالنسبة إلى الممثلين: مؤدٍ، مسرحي، وهكذا). وكذلك أعدوا قائمة ثالثة من الكلمات لا تنطبق على أي من المجموعتين (مثل: مشوش، موثوق)؛ ثم عرضوا هذه الكلمات على مفحوصيهم وطلبوا إليهم أن يقرروا إن كانت كل كلمة تنطبق عليهم أو لا.

لقد تنوعت أدمغة المتطوعين في استجاباتها لهذه الكلمات المختلفة. لقد مالت الكلمات المتعلقة بكرة القدم إلى زيادة النشاط في شبكة مميزة داخل أدمغة لاعبي القدم، وهي الشبكة نفسها التي أصبحت أكثر نشاطاً لدى الممثلين قيساً يخص الكلمات المتعلقة بهم (بالمثلين)؛ أما حينما عُرض على المفحوصين في إحدى المجموعتين ما يخص إحدى المجموعتين من الكلمات، فإن شبكة غير التي سبقت في أدمغتهم غدت أكثر نشاطاً. ويشير

الذات، بحيث تخلق شعوراً موحداً عن نكون نحن، ويقول في هذا الصدد: «قد يكون الأمر شيئاً ما يضم المعلومات بعضها مع بعض بطريقة ذات معنى».

فإذا كان «هيزرتون» على حق، فقد تؤدي القشرة أمام الجبهية الوسطى فيما يخص الذات الدور نفسه الذي يؤديه الحصين hippocampus فيما يخص الذاكرة. صحيح إن الحصين عضو أساسي في تكوين ذكريات جديدة، بيد أن الناس يبقون محتفظين بذاكراتهم القديمة حتى بعد تلف الحصين. فبدلاً من اختزان الحصين المعلومات بداخله، يُعتقد بأنه يخلق الذكريات عن طريق قيامه بوصل أجزاء دماغية مترامية البعد بعضها مع بعض.

قد تعطل القشرة أمام الجبهية الوسطى على خيالة stitching حس معرفتنا «بمن نكون» قطبية قطبية. ومن جانبها درست «A.D. كوسنارد» وزملاؤها [من جامعة واشنطن] ما يحدث في الدماغ حينما يكون هذا الأخير في حالة الراحة، أي حينما يكون غير منشغل بأي مهمة معينة. فتبين لهم أن القشرة الخفية أمام الجبهية الوسطى تغدو أكثر نشاطاً في حالة الراحة منها حين القيام

«ليبيرمان» إلى هاتين الشبكتين باسم المنظومة (الجملة) التدقيقية reflective system (أو المنظومة C) والمنظومة الانعكاسية reflexive system (أو المنظومة X).

تضم المنظومة C الحصين وأجزاء دماغية معروفة باسترجاع الذكريات، كما تشمل مناطق تستطيع استبقاء أجزاء المعلومات بشكل واع في العقل. فحينما نكون في ظروف جديدة فإن إحساسنا بذواتنا يعتمد على التفكير الصريح في خبراتنا.

بيد أن «ليبيرمان» يجادل بأن المنظومة X تتولى المهمة مع الزمن، فبدلاً من الذكريات تكوّن encode المنظومة X هذا الحس موجهة إياد إلى المناطق التي تولّد الاستجابات الانفعالية السريعة التي لا تعتمد على الاستدلال الصريح، بل على الارتباطات (الاقترانات) الإحصائية، ونشير هنا إلى أن المنظومة X بطيئة في تشكيل معرفتها حول الذات، لأنها تحتاج إلى العديد من وقائع الخبرة لتشكيل هذه الارتباطات. ولكن ما إن تأخذ هذه المنظومة شكلها حتى تغدو قوية جداً. فلاعبو كرة القدم يعرفون ما إذا كانوا رياضيين أو أقوياء أو سريعين من دون أن يستشيروا ذاكراتهم؛ إذ إن تلك النوعت تنضم بشكل حميم إلى النوعت الذاتية. وبالمقابل، فإن لاعبي كرة القدم لا يملكون الغريزة الأساسية نفسها حول ما إذا كانوا مسرحيين. وهكذا فإن نتائج «ليبيرمان» يمكن أن تحل لغز مفارقة معرفة الذات لدى «B.D»؛ إذ إن المعقول أن يكون ما أصابه من أذية دماغية قد محى منظومته التدقيقية من دون أن يمحى منظومته الانعكاسية.

وسمع أن علم الذات العصبي self-neuroscience نوع من الاجتهاد أخذ بالأزدهار في هذه الأيام، فهناك منتقدون له؛ إذ تقول M. «فَرَح» [وهي عالمة أعصاب في

التخصص المعرفي بجامعة بنسلفانيا: «إن الكثير من هذه الدراسات يخلق طليق العنان، وقد فإنها لا تقرأ شيئا». وتجادل هذه الباحثة مع التجارب لم تصمم بعناية تكفي لتفكي الشبكات أخرى، مثل التفسير الذي يأخذ استخدامنا مناطق دماغية معينة للتفكير بأي شخص، بما في ذلك ذواتنا أنفسنا.

يعتقد «هيزرتون» وعلماء آخرون غيره من الصخرطين في هذا البحث أن الباحثة «قرح» كانت صارمة أكثر مما يجب تجاه موضوع «تي كيذا». ومع ذلك، فهم متفقون على وجوب مبادرتهم لاكتشاف الكثير حول شبكة الذات self-network وكيفية أداء وظائفها.

الذات المتطورة⁽¹⁴⁾

قد يتيح اكتشاف هذه الشبكة للعلماء، أن يفهموا كيف تطور إحساسنا بالذات. فـتـلـاـف البشر من الرئيسات ربما كان لديهم إدراك الذات الجسمية الأساسي الذي تدرسه «بلاكهور» ومشاركوها (ذلك أن الدراسات على التسانيس توحى بأن التسانيس تثبأ بأفعالها الخاصة). أما البشر فقد طوروا حسا بالذات لا نظيره في عقيدته. وقد يكون من المهم أن تكون القشرة المخية أمام الجبهية الوسطى «واحدة من أهم المناطق الدماغية البشرية تميزًا». حسب قول «ليبرمان». فهذه القشرة لدى البشر ليست أكبر منها لدى الرئيسات غير البشرية فحسب، بل إنها كذلك تمتلك تركيزا أكبر لعصبونات فريدة الشكل تدعى الخلايا المغزلية spindle cells. ولا يعرف العلماء حتى الآن عمل هذه العصبونات ولكنهم يشتبهون في أنها تزدي دورا مهما في معالجة المعلومات. ويعلق «ليبرمان» قائلا: «يبدو أن ثمة شيئا خاصا هناك».

يعتقد «هيزرتون» أن شبكة الذات البشرية يمكن أن تكون قد نشأت نتيجة للحياة الاجتماعية المعقدة لدى أسلافنا، فعلى مدى ملايين من السنين كانت فصيلة الإنسان hominid تعيش في جماعات

صغيرة يتعاون أفرادها فيما بينهم لإيجاد الغذاء، وتقاسم ما وجدوه. ويقول «هيزرتون»: «إن الطريقة الصالحة الوحيدة تكون عبر ضبط النفس self-control. ويجب عليك أن تتعاون وتمتلك الثقة». ويجادل بأن هذه الأنواع من السلوكيات تتطلب إدراكا متطورا من المرء بنفسه.

إذا كانت الذات البشرية ذات التجهيز المكتمل هي نتاج مجتمع قصيلة الإنسان فإن تلك الصلة قد تفسر لماذا توجد تدخلات مثيرة بين الكيفية التي يفكر بها بأنفسنا والكيفية التي يفكر بها الآخرون. ولا يقتصر هذا التداخل على القدرة على الشعور بمشاعر الغير physical empathy الذي تدرسه «بلاكهور». فالبشر كذلك ماهرون على نحو فريد في استدلال مقاصد وافكار الآخرين من بني جنسهم. لقد أجرى العلماء مسحا على أناس منشغلين باستخدام هذا الذي يدعى نظرية العقل theory of mind، فوجدوا أن بعض المناطق الدماغية التي تصبح ناشطة تشكل جزءا من الشبكة المستعملة في التفكير حول الذات (بما في ذلك القشرة المخية أمام الجبهية الوسطى). ويقول «هيزرتون»: «إن فهمنا لذواتنا والتوصل إلى نظرية للعقل أمران مترابطان، وإنك تحتاج إليهما كليهما كي تكون كأننا بشريا سوي الأداء».

إن الذات تتطلب وقتا لتتطور بشكل كامل. ولطالما أدرك علماء النفس أن الأطفال يستغرقون فترة ما لاكتساب حس مستقر بذواتهم. ويعلق «ليبرمان» على ذلك قائلا: «لديهم تعارضات لا تزعجهم البتة بخصوص معاني الذات. فالأطفال الصغار لا يحاولون أن يقولوا لأنفسهم «ما أزال الشخص نفسه». ويبدو أنهم ببساطة لا يربطون بين الانشآت الصغيرة لمعنى الذات».

ويتساءل «ليبرمان» وزملاؤه إن كانوا يستطيعون متابعة معنى الذات المتغير لدى الأطفال وذلك باستخدام التصوير الدماغى، لقد بذؤوا يدرسون مجموعة من الأطفال وخططون لإجراء مسح عليهم كل 18

شهورا. ما بين سن التاسعة وسن الخامسة عشرة. ويقول «ليبرمان»: «طلبنا إلى الأطفال أن يفكروا بذواتهم وأن يفكروا كذلك في «هاري پوتر». وقام هو وفريقه بمقارنة النشاط الدماغى في كل مهمة. كما قارنوا تلك النتائج مع نظيراتها لدى الكبار.

ويقول «ليبرمان»: «حينما ننظر إلى أطفال في سن العاشرة، تجددهم يبدون نفس تنشيط activation القشرة المخية أمام الجبهية الوسطى الذي يبدى الكبار، بيد أنه توجد منطقة أخرى تصبح ناشطة لدى الكبار، تعرف باسم الطلل precuneus، ولها قصة مختلفة. فحينما يفكر الصغار بذواتهم، فإنهم ينشطون هذه المنطقة بمقدار يقل عن تنشيطهم إياها حينما يفكرون في «هاري پوتر»».

هذا ويشتبى «ليبرمان» في أن شبكة الذات لدى الأطفال تبقى في حالة إنشاء، ويقول: «إنهم يملكون الشبكة ولكنهم لا يجيدون تطبيقاتها مثلما يفعل الكبار».

استبصارات في داء الزايمر⁽¹⁵⁾

ولكن ما إن يتم إنشاء شبكة الذات حتى تعمل بكفاءة. ويعلق «و. سيللي» [وهو عالم أعصاب في جامعة كاليفورنيا بسان فرانسيسكو] قائلا: «وحتى بالنسبة إلى المنظومة الإحصارية، استطيع إغلاق عيني» لأمحصها بعض الراحة. ولكنني لن أستطيع أبدا أن أتخلص من العيش في جسي أو من تجسيد حقيقة كوني الشخص نفسه الذي كنته قبل عشر شوان أو عشر سنوات. لا أستطيع أبدا الهروب من ذلك، ومن ثم فإن تلك الشبكة لابد أن تكون ناشطة».

كلما ازدادت الطاقة التي تستهلكها خلية ما، ازدادت خطورة إيداء نفسها بالمنتجات الجانبية السامة. ويشتبى «سيللي» بأن العصبونات الدووية في شبكة الذات تكون سريعة التأثر vulnerable بشكل خاص بهذا الضرر على مر الحياة. ويجادل «سيللي» بأن

محركات تعرف فوق البيانات الحاسوبية⁽¹⁾

تصاميم حاسوبية جديدة تعالج بكفاءة أكثر دقوق⁽²⁾ البيانات
من أجل الكشف عن الفيروسات الحاسوبية والسيامات⁽³⁾.

<G> سكر



لقد استمرت صناعة الحواسيب مدة أطول مما هو مبرر لها
بكثير بناء على تأكيداتنا أن معالجات processors أسرع ستظهر
كل بضع سنين لتحل مشكلات عديدة أسوأها عدم كفاية
برمجيات التطبيق application software وتضخم حجمها.

إلا أن الترف الذي شهدته صناعة الحواسيب حتى الآن
بدأ بالانحسار؛ إذ يتعاظم استهلاك الطاقة وتُذَر صفائح
الدائرة circuit boards التي تُركَّب عليها المعالجات الميكروية
microprocessors بالتحول إلى أجهزة للتدفئة. وقد استجابت
الشركة Intel، التي ما زال قانون مور Moore's law المٌبجل
ساندا لديها، كما استجاب غيرها من صناع المعدات الحاسوبية
hardware لهذا التحدي بتصميم حواسيب يمكنها تشغيل
معالجات متعددة multipleprocessors بسرعات أقل.
لكن المعالجات المتعددة تأتي دائما مع مشكلاتها، فمن جهة
أولى، تعتبر كتابة البرمجيات التي توزع المهام الحاسوبية على
أجزاء المعالجات المختلفة، من الأعباء التي لا يرغب الكثير من
المبرمجين في القيام بها. إضافة إلى ذلك، فإن الكثير من
تطبيقات التشبيك networking applications الأسرع تناميا ..
بدا من البحث عن الفيروسات إلى قراءة وثائق شبكة الويب
المكودة باستخدام لغة التاشير القابلة للتعميد extensible

(١) العنوان الأصلي: RECOGNITION ENGINES

(٢) دفق stream

(٣) سيام: تعريب للنص spam، ويعني رسالة أو إعلانا يُنم على
بريد إلكتروني خاص

array (٤)

(٥) أو الوسطاء

إن عمليات البحث في لوائح التوجيه تتطلب النظر إلى خيط قصير من البيانات يقع في مقدمة (الجزء الأول) من رزمة البيانات، وهو بمثابة الترويسة التي تنبئ، بالوجهة النهائية للرمز. ومع الانتشار غير السبوق للفيروسات والسيام وغيرها، مما يسمى الآن بالكيان الرديء malware فإن على معالجات الشبكة network processors أن تقرأ بعق أكبر بكثير محتويات الرزمة للبحث عن علامات تشير إلى نيات غير حميدة قد يضمهرها المرسل. وعلى نحو مشابه فإن قراءة اللغات المستخدمة في تكويد الوثائق، مثل XML، تضع أعباء كبيرة على الكيان الصلب الذي تستخدمه الشبكات. لذا أصبح عامل التلييد الذي صممه «فان لونتزن» أداة جوهرية في معالج الدفع لدى الشركة IBM.

ما بعد فون نويمان^(١١)

تحتاج المعالجات التقليدية إلى تعليمات instructions متعددة للتعامل مع كودات XML، أو للبحث عن الكيان الرديء، ما يؤدي إلى حدوث اختناق يؤد إلى الحاجة إلى عشرات من دورات الساعة clock cycles للتعامل مع حروف character وحيد. وعلى الرغم من التحسينات الكثيرة التي أدخلت على وحدة المعالجات المركزي فإن المعالج المركزي الاعتيادي مازال يعتمد - إلى حد كبير - على المعمارية architecture التي وضعها الرياضياتي الكبير «فون نويمان» في أربعينات القرن العشرين، ومن بعده راند الحاسوب «إ. پرسپر إكرت» و«د. موشلي». تُحصر هذه المعمارية، التي يطلق عليها اسم معمارية فون نويمان^(١٢)، تعليمية من عنوان ضمن الذاكرة وتقوم بتنفيذها، ثم يجري تحيين^(١٣) عداد برمجي program counter من خلال ترزيده بعنوان التعليم التالية التي ينبغي تنفيذها. وتعيد هذه الدورة نفسها إلا إذا طلبت تعليمية من المعالج دون لبس أن يقفز إلى موضع آخر في البرنامج. وإذا صادف المعالج مهمة تتميز بآية درجة من التعقيد - مثلاً، كالتحقق من أن محرراً ما مسموح به أم لا في تكويد اللغة XML، فإن عليه تنفيذ العديد من التعليمات ودورات الساعة لينجز المهمة.

وقد استعار «فان لونتزن» و«إنكبرسن» خطة مفاهيمية^(١٤) تعود إلى السنوات الأولى للحوسبة، وهي آلة حالة محدودة finite-state machine تعود جذورها إلى أعمال راند الحوسبة M.A. تورينج^(١٥). وآلة الحالة المحدودة هذه توفر وصفا أساسياً لكيفية عمل أية آلة للحوسبة، أي كيف تؤدي عمليات الحوسبة عبر سلسلة من الخطوات المنفصلة وكيف تنقصر عددا محدوداً من الحالات الضمنية في أي وقت من الأوقات، ومن وجهة نظر مجردة، فمعمارية «فون نويمان» يمكن اعتبارها آلة حالة محدودة. لكن نوع الآلة التي صممها «فان لونتزن» و«إنكبرسن» تتميز عن وحدة المعالجة المركزية التي ترتكز إلى معمارية «فون نويمان» بأنها لا تتضمن عدداً برمجياً.

يدعى محرركات تسريع كشف التدخل^(١٦) ببعض الأعمال التي كانت تقوم بها وحدات المعالجة المركزية CPU central processing units المتزايدة الأعباء، بل بدأت بعض المختبرات الأكاديمية والصناعية يدفع هذا عنهم خطوة إضافية إلى الأمام باستضافة جميع أنماط المعلومات الجارية في شبكة ما. إذ قامت هذه المختبرات بتطوير معالج جرياني stream processor عمومي الغاية general-purpose يمكن إعادة برمجته بسهولة، ويمكنه تناول تطبيقات متعددة، سواء كانت حماية الجدار الناري firewall أو ضغط السجلات compressing files.

محرر مطابقة الشكل^(١٧)

لقد أجرى مختبر أبحاث الشركة IBM في زيوريخ عدداً من جوائز نوبل لقاء تطويره المجهر النانوسكوبي scanning tunneling microscope والموصلية الفائقة superconductivity في درجات الحرارة المرتفعة. كذلك أدى المختبر دور الوسيط (أو همزة الوصل) في تطوير برمجيات وتجهيزات الشبكات، وفي مؤتمر نظم معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات IEEE في الشهر 2005/8 في جامعة ستانفورد، تحت عنوان «شبيكات ساخنة»^(١٨)، قدم «فان لونتزن» (من مختبر أبحاث IBM في زيوريخ) عرضاً حول معالجات جرياني عنوانه «محرر مطابق للشكل»^(١٩) طورته بالتعاون مع زميله «T. إنكبرسن» يمكنه التقاط الفيروسات والسيام وغيرها من العوامل المسببة.

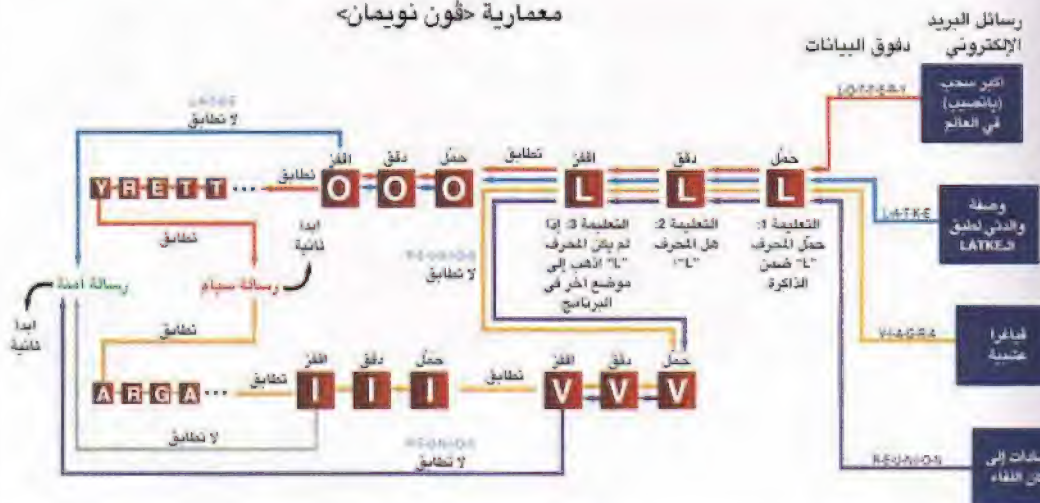
وقد طور معالج الشركة IBM بفضل أبحاث سابقة حول كيفية إرسال البيانات خلال حواسيب الإنترنت الشبكية، المسماة routers. وكان «v. لونتزن» (وهو هولندي الأصل) قد عمل في أواخر التسعينات في مختبر الشركة IBM بزيوريخ على تطوير تقنيات كفوة لتخصص لوائح البيانات التي تستخدمها الموجبات من أجل العثور عن المعلومات اللازمة لتوجيه رزم البيانات data packets عبر شبكة ما. فعلى الموجبات تفحص عشرات الملايين من الرزم في الثانية، وتدقيق عشرات الآلاف من المدخلات entries في قواعد البيانات الخاصة بها للتزود بالوصلة link التالية ضمن الشبكة التي ينبغي إرسال الرزم إليها من خلال عدد من بوابات الخرج output ports. وقد صمم «فان لونتزن» حينذاك عامل تلييد (هاش) hash للبحث ضمن لوائح الموجبات، وتنتج المعادلة الرياضية التي طورها «فان لونتزن» رقماً، يدعى راقع التلييد (هاش) hash index، يشير إلى الموضع في لائحة وضعت ضمن المكونات الصلبة^(٢٠) للمعالج حيث بوابة الخرج المؤدية إلى الوصلة التي تقوم بدورها بتحرك الرزمة المعنية إلى الموجة التالي ضمن الشبكة.

وقد طور «فان لونتزن» خوارزمية تستند إلى عامل تلييد (هاش) - وهو البحث بلائحة التوجيه المتوازنة^(٢١) (BaRT) - وتسمح هذه الخوارزمية بتقليص دراسي لعدد البتات اللازمة لتخزين لوائح التوجيه ضمن الذاكرة. ويمكن للخوارزمية BaRT، التي قد تظهر مستقبلاً في عدد من منتجات الشركة IBM، أن تتعامل مع 25 مليون رزمة في الثانية. وقد يتسنى لها في المستقبل التعامل مع أربعة أضعاف هذا المقدار من حركة البيانات.

Beyond von Neumann (١٠٠)
Hot Chips (٢)
hardware (١١)
stream processor (١٢)
updated (١٣)
Pattern-Matching Engine (١٤)
intruder detection (١٥)
caching-matching engine (١٦)
the Balanced Routing Table (١٧)
The von Neumann architecture (١٨)
conceptual (١٩)

وفي معمارية «فون نويمان» المعهودة، تتم مقارنة كل حرف داخل بحرف واحد فقط في الوقت نفسه، إضافة إلى ذلك، لا بد من إنجاز ثلاث تعليمات أو أكثر - ومن ثم خوض عدد من دورات المعالجة من أجل كل حرف - واحدة لتحميل الحرف، وأخرى للتأكد من كونه الحرف الذي يتم البحث عنه، وثالثة للانتقال إلى موضع آخر في البرنامج، إن لم يكن الحرف الداخل هو المطلوب تفاديه.

معمارية «فون نويمان»



الهندسة والتقانة التابعة لها. وهي تدرس تضمين المعالج في عدد من المنتجات. وليست الشركة IBM الوحيدة التي تبنت هذه الفكرة. فقد طوّرت جامعات وشركات أخرى آلات حالة معدودة قابلة للبرمجة فقام «د. لوكوود» [رؤس أستاذ في جامعة واشنطن بسانت لويس] بالمشاركة في تأسيس الشركة Global Velocity لتسويق معالج كهذا. ويفيد «فان لونتيرن» بأن تصميم الشركة IBM يتميز بقدرته على التعامل مع مجموعة كبيرة من التطبيقات، ما يجعله معالجا عمومي الغرض، صالحا لأي من التطبيقات التي تتطلب معالجة جبرائية. وقد تستمر إمكانات هذه المعالجات التشاركية في التطور مع جنوح مهام حرجية في الحوسبة بعيدا عن تحكم وحدة المعالجة المركزية، وسيضمن هذا تعايش ثراث كل من «تورينك» و«فون نويمان» على مسافة سنتيمترات أحدهما من الآخر على لوحة الدارة الواحدة.

لمزيد من المعلومات حول

The Alphabets, Words and Languages of Finite State machines.
www.cs.lanl.gov/omega-math/workbk/machines.html
أنظر: Global Velocity: شركة طوّرت مقاييس مماثلة لتلك التي صممها فريق الشركة
www.globalvelocity.com/index.html
IBM XML Accelerator Engine.
www.research1.ibm.com/XML/IBM_Zurich_XML_Accelerator_Engine_pap_انظر:
ar_2004May04.pdf

أرسائل السهامية، أما إذا لم يحصل تطابق، كما لو كانت الكلمة التي تبدأ بحرف "L" في "LATKE"، فإن المعدات الحاسوبية تنتقل إلى الحالة "3"، مشعرة بعدم وجود سهام كامل. أما إذا لم يتطابق الحرف الأول في البيانات المُخزّنة مع بواقي الكلمات المخزّنة في الذاكرة، كما لو كان هذا الحرف "R" في مطلع كلمة "REUNION"، فإن الالة تنتقل مباشرة من الحالة "0" إلى الحالة "3".

تطبيقات جبرائية يؤدي إلى تحسّن كبير في الأداء. وقد ذكر «فان لونتيرن» في اجتماع عقد تحت عنوان شبيبات ساخنة Hot Chips أن بإمكان الة الحالة المحدودة التي صممتها الشركة IBM معالجة الحروف بسرعة تصل إلى 20 جيكابايت في الثانية، وذلك لدى التحرّي عن الفيروسات والسيام وغير ذلك من التطبيقات، أي بسرعة تفوق عشرة إلى مئة مرة سرعة المعالجات المعهودة عند قياسها بفهام مماثلة، والأداة المفتاح في إحراز هذه السرعة هي خوارزمية لائحة التوجيه المتوازنة أو BaRT. وفي الكثير من الآلات الحالة المحدودة يستهلك تخزين القواعد التي ينبغي بموجبها إحراز النقلات ضمن مخطط حالة ما قسما كبيرا من الذاكرة. ويمكن للشركة IBM أن تُخزّن في الة الحالة المحدودة التي صممتها نحو 25 000 حرف في أقل من مئة كيلوبايت من الذاكرة، وهو جيور من الذاكرة يبلغ 1/500 مما تتطلبه بعض الآلات الحالة المحدودة الأخرى، وتتيح الكثافة التي تتميز بها الخوارزمية التي صممت أصلا من أجل لوائح التوجيه بازدياد خطي في حاجاتها من الذاكرة، فإذا ازداد عدد قواعد الانتقال transition rules من واحدة إلى عشر تزداد الحاجة إلى الذاكرة بمقدار مماثل. وهذا خلافا للوضع في آلات الحالة المحدودة الأخرى، إذ يتطلب تضاعف عدد قواعد الانتقال عشر مرات ازديادا بمقدار مئة مرة في حجم الذاكرة.

تعرض الشركة IBM منذ مدة تقانة الة الحالة المحدودة من أجل تطبيقات مخصصة، وتمنح رخصا لاستخدامها من خلال مجموعة

الألف طريقة وطريقة لقابلية المكاملة^(١)

إن المسائل الفيزيائية التي يمكننا حلها حلاً دقيقاً - والتي نسميها مسائل قابلة للمكاملة أو قابلة للحل - هي مسائل نادرة. وقد استطاع الفيزيائيون الربط بين ظواهر مختلفة بتحويل مسائل معقدة إلى مسائل يمكن حلها، وذلك بفضل الاستفادة من تناظرات خفية.

«D. برنارد» - «P. دي فرانسيسكو»

معادلات تطورية^(٢)، واحدة لكل وسيط من الوسطاء (البارامترات) parameters الثلاثة التي تعين هيئة configuration النظام (المسافة التي تفصل الكوكبين والزوايتين اللتين تعينان الاتجاه في الفضاء، للقطعة المستقيمة الواصلة بين الجسمين).

لم هذا الحل ممكن؟ لقد أثبت الرياضياتي الفرنسي «د. ليوفيل» في القرن التاسع عشر مبرهنة مهمة تقول: إذا كان عدد المقادير التي يحافظ عليها النظام غير الزمن يساوي عدد درجات حرته^(٣) (أي عدد المتغيرات اللازمة لتحديد) فإننا نستطيع، نظرياً، حل مسألة كبلر حلاً مضبوطاً، أي التعبير عن تطورها عبر الزمن تعبيراً صريحاً باستخدام عمليات رياضية أولية - كتبديل المتغيرات واللجوء إلى تكاملات لدوال في متغير واحد - ومن ثم جاء مصطلح «قابلية المكاملة».

تلك هي حالة مسألة كبلر. ما المقادير التي تتم المحافظة عليها خلال حركة الجسمين؟ تبين معادلات الميكانيك المعهود (التقليدي) أن الطاقة الكلية للنظام، وكذا عزمه الحركي الكلي (العزم الحركي لجسيم هو الجدا، المتجهي^(٤) لمتجه موقعه^(٥) في متجه كمية حركته) يظلان ثابتين عبر الزمن. إن الحفاظ على الطاقة وعلى العزم الحركي ناتج من وجود تناظرات.

وهكذا فإن الحفاظ على الطاقة يعبر عن أن قوة الجذب التثاقلي لا ترتبط صراحة بالزمن. ونقل عندئذٍ إن النظام لا يتغير invariant، أو متناظر بالانسحاب translation في الزمن؛ بمعنى أن تغيير مبدأ الزمن (أي لحظة الصفر) لا ينجم عنه أي تأثير يمكن مراقبته. كما أن الحفاظ على العزم الحركي الكلي يرجع إلى التناظر الحاصل بفعل دوران مجمل الجسمين الضخمين الكتلة: لأن القوة التثاقلية بين الكوكبين لا ترتبط إلا بالمسافة التي تفصلهما، وليس بمنحى المستقيم الواصل بينهما. وبعبارة أخرى، فإننا لا نحدث أي تغيير إذا أخضعنا مجموعة الكتلتين المتأثرتين لدوران، مهما كانت زاوية هذا الدوران.

هل هناك تلميذ لا يشعر بالارتياح عندما يستطيع إيجاد حلّ لمسألة رياضية أو فيزيائية؟ وهل هناك فيزيائي لم يحلم بحل المعادلات التي تصف الظاهرة التي يدرسها؟ ذلك صحيح، لكن تجري الرياح بما لا تشتهي السفن: إذ إن حلّ المسائل لا تقبل حلولاً صريحة. وهذا لا يرجع إلى ضعف مواهب الأشخاص الذين يبحثون عن تلك الحلول، بل إلى البنية الرياضية للمسائل المطروحة التي تجعل الحل الوحيد الممكن هو حل تقريبي أو عددي.

هناك عدد قليل من المسائل التي تتمتع بحلول مضبوطة يمكن التعبير عنها بصيغة واضحة ومتأسكة (مثل تلك التي تعبر عن سقوط جسم في الفراغ)، وهي تسمى مسائل قابلة لحل مضبوط^(٦) (تقول أيضاً إنها «قابلة للمكاملة، intégrable») وتخضع في الفيزياء، لوضع خاص. إنها مسائل تسمح بالتأكد من صحة قوانين فيزيائية، لأننا نستطيع بواسطة هذه القوانين التنبؤ بدقة بتطور نظام عبر الزمن والتحقق من تطابق النتائج مع الدراسة النظرية. لكن السؤال المطروح هو: كيف نتعرف تلك المسائل القابلة للمكاملة؟

سنرى أن وجود الحلول المضبوطة مرتبط بوجود تناظرات، كما هي حال المسألة المتميزة لجسمين متأثرين ثقافياً^(٧)، التي حلت في القرن السابع عشر. وسنصف بعد ذلك كيف يمكن أن يؤدي البحث عن التناظرات الخفية أحياناً إلى توسيع حقل «قابلية المكاملة» إلى مسائل جسيمات متأثرة، لاسيما في دراسة تغيرات حالة النظم الترموديناميكية (الحركية الحرارية)، وستبين أمثلة متعاقبة أن اكتشاف أسباب قابلية المكاملة أقام جسوراً بين العديد من حقول الفيزياء. وحتى الرياضيات، التي كانت تبدو وكأنها روافد بينها، تلك هي أهمية النماذج القابلة للحل في الفيزياء.

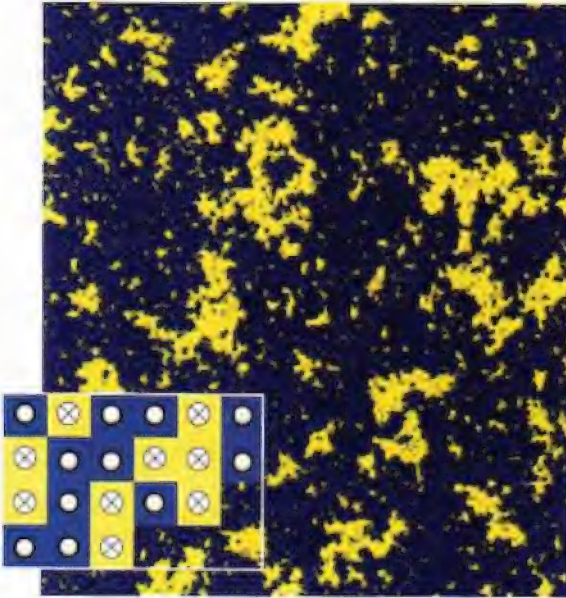
إن أبرز مسألة قابلة للحل بالضبط هي مسألة كبلر Kepler، المتعلقة بحركتي جسمين ضخمين الكتلة، مثل حالة كوكب مع نجم من نجومه عندما يكونان خاصمين لفعل تجاذبهما التثاقلي. إن «حل» المسألة يعني هنا أن معرفة كتلتي هذين الجسمين، وكذا موقعيهما وسرعتهما الابتدائيتين، تمكننا من وصف تطور موقعي الكوكبين عبر الزمن وصفاً تحليلياً^(٨) (أي بعبارات رياضية متأسكة). من أجل ذلك يكفي تحديد الموقع النسبي لكل من الكوكبين بدلالة الزمن. وتتمثل مسألة كبلر عندئذٍ في حل ثلاث

(١) هذه ترجمة للكتابة بعنوان: Les mille et une facettes de l'intégrabilité

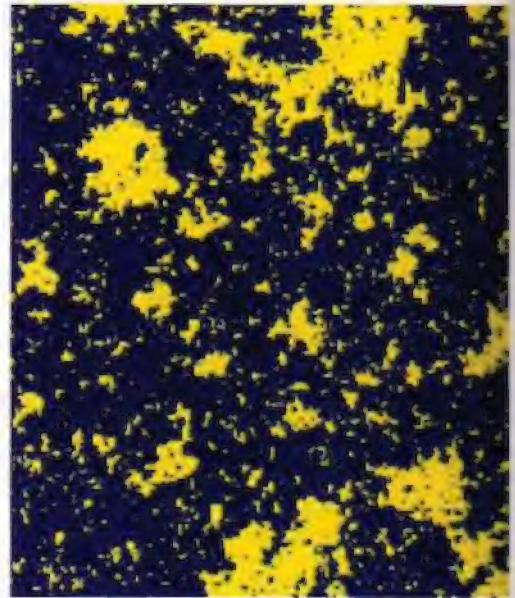
وقد صدرت في عدد الشهر 2005/10 من مجلة Pour la Science الفرنسية، وهي إحدى أخوات **العلوم** الثنائي عشرة التي تترجم مجلة Scientifique American.

(٢) interaction gravitationnelle (٣) exactness solubles (٤) analytique (٥) degrés de liberté (٦) vecteur position (٧)

(٨) équations différentielles (٩) produit vectoriel (١٠) الجدار الشعاعي.



غير مغطاة (تكون فيها العزوم المغناطيسية اتجاهات عشوائية). وبجوار درجة الحرارة الصاعدة، نلاحظ وجود لتغير في السلم: عندما نعتبر سلما معيناً (في اليسار) نشاهد حضوراً مختلفاً الحجم، وعندما تجري تكبيراً (بمعامل 2 مثلاً، في اليمين) فإن النظام يظهر الهيئة العامة نفسها. يسفح التغير المذكور بحساب دقيق لبعض خصائص النظام الذي نسميه نظاماً «قابلاً للمكاملة».



الشكل 1: إن تشكيلات العزوم المغناطيسية لنموذج سمطي على شبكة ثنائية الأبعاد، حيث يكون لكل موقع في الشبكة عزم مغناطيسي موجه نحو الأعلى (باللون الأزرق) أو نحو الأسفل (باللون الأصفر)، تتكون (هذه التشكيلات) من حشود مختلفة الضخوم. عندما تكون درجة الحرارة صاعدة، فإنه يتم الانتقال من حالة مغطاة (تكون فيها معظم العزوم المغناطيسية موجهة نحو الاتجاه نفسه) إلى حالة

فيها سوى التأثير الكهروستاتيكي - نظاماً كمومياً قابلاً للمكاملة وذلك بفضل وجود تناظرات كافية.

كان عدد الأنظمة القابلة للمكاملة في مطلع القرن العشرين لا يتجاوز عدد أصابع اليد الواحدة. ففي الميكانيك المعهود كان الأمر يتعلق خصوصاً بـ «ذاريات» متناظرة إلى حد ما وبخاصة أحياناً لقوة الجاذبية. وفي هذا السياق تجدر الإشارة إلى أن مسألة الأجسام الثلاثة المتأثرة ثقافياً - التي تبدو من البساطة بمكان - لا يمكن حلها حلاً مضبوطاً. وكذلك الأمر فيما يتعلق بالميكانيك الكمومي (الكوانتي) إذ لا يمكن بالضبط تحديد الدوال الموجية للذرة الثانية في التصنيف الدوري للعناصر - وهو الهليوم (نواة والإلكترونات متأثران كهروستاتياً).

يعتبر الفيزيائيون الكون منقوصاً: ذلك أن الوضعيات الحقيقية تؤدي إلى نظم عدد مركباتها يفوق اثنين بكثير. وهكذا فإن حلّ الذرات لها عدد مرتفع من الإلكترونات، وتوابعها تتشكل من عدد مماثل من البروتونات والنيوترونات. والملاحظ أن عدد المركبات في السوائل والغازات كبير للغاية. وعليه فإننا بعيدون عن التفكير في إمكانية تحديد مسارات كل من المركبات الأولية لمثل تلك النظم. ولذلك ندخل في اعتبارنا متغيرات جديدة، تسمى متغيرات ماكروسكوبية (عينية) macroscopic (الضغط، درجة الحرارة، المغنطة، ...) للمقادير المحصل عليها وذلك بحساب متوسطات

Les symétries jouent un rôle clef (١)

la fonction أو تابع (٢)

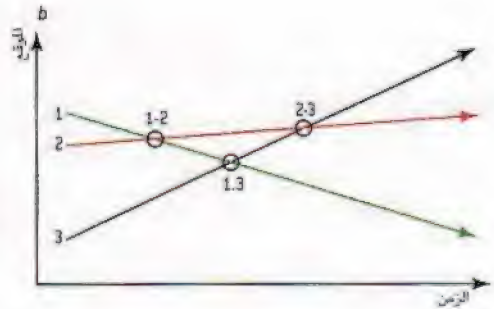
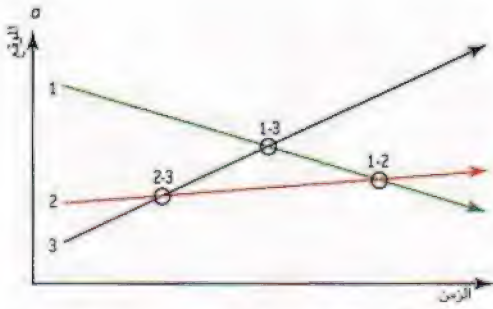
troupeaux ج: خذروف (دواة أو بيل) (٣)

التناظرات تؤدي دوراً حاسماً

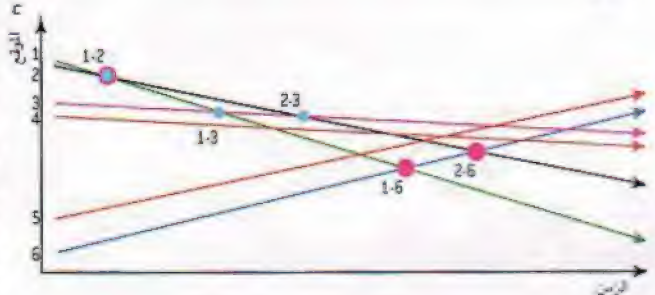
عندما يتعلق الأمر بمسألة كيلر نلاحظ أن التناظرات - بفعل الانسحاب في الزمن وبفعل الدوران - تكفي للحفاظ على ثلاثة مقادير مستقلة، وهي عدد درجات حرية النظام؛ ولذا تكون المسألة قابلة للمكاملة.

لقد تم حلّ مسألة الجسمين قبل أن يتم تحديد الصلة بين قابلية المكاملة والتناظرات، أو المقادير اللامتغيرة. لكن المقادير الثلاثة اللامتغيرة المستقلة في مسألة كيلر تضمن إمكانية كتابة الدوال الثلاث المستقلة، التي تصف موقعي الجسمين بدلالة الزمن، كتابة صريحة. يعني أنه يمكن ردّ المسألة إلى حلّ ثلاث مسائل أحادية الأبعاد (أي بدرجة حرية واحدة) ومستقلة. وقد تم التوصل إلى العلاقة بين التناظرات والمقادير اللامتغيرة في مطلع القرن العشرين وذلك من قبل الرياضياتية الألمانية E. نوتر.

والملاحظ أن مفهوم قابلية المكاملة ينطبق أيضاً على النظم الكمومية (الكوانتية) quantum. فتمّة ما يكافئ مسألة كيلر: إنها ذرة الهيدروجين، في هذه الحالة، يكون الجسمان (بروتون وإلكترون) خاضعين لتفاعل كهروستاتيكي electrostatique، والمقدار المطلوب تعيينه هو الدالة الموجية، وهي الدالة التي تعبّر عن احتمال وجود الإلكترون في كل لحظة عند كل نقطة من الفضاء، إن الحل الدقيق لهذا النموذج معروف منذ العشرينيات من القرن الماضي. وكما هي الحال بالنسبة إلى مسألة كيلر المعهودة فإن ذرة الهيدروجين تمثل - عندما لا نراعي



الشكل 2: عندما تلتقي موجتان منعزلتان فإنهما تتقاطعان من دون أن تتشوها، وهكذا فإننا نثبت أن الحالة النهائية لنظام مؤلف من ثلاث موجات منعزلة، حالة مستقلة عن الترتيب الذي تتم وفقه الاصطدامات (الشكلان a و b). وتسمح هذه الخاصية - المتمثلة في تناظر مجرّد - بتحليل تأثير عدد كبير من الموجات المنعزلة (الشكل c)، وهي مجموعة اصطدامات مؤلفة من ثلاثة أجسام، بشكل يجعل النظام قابلاً للمعاملة. وبذلك تكون قد استخرجنا من بين المسارات الكثيرة (المبيّنة في الشكل c) نظامي اصطدام قابلين للمعاملة مؤلفين من ثلاثة أجسام: تلك المسارات التي تتقاطع عند النقاط 1-2 و 1-3 و 2-3 (النقاط الزرقاء)، وعند النقاط 1-2 و 1-6 و 2-6 (النقاط الحمراء).



من دون أن يُحدث ذلك تغييراً في شكلهما. وكل ما نلاحظه من تغيير في آخر المطاف هو بعض التأخر في سرعة الانتشار.

إن ثبات سرعات الموجات يتعارض مع ما نشاهده عند اصطدام جسمين رخويين حيث يتمّ خلال الصدمة امتصاص جزء من الطاقة الحركية. أما بالنسبة إلى هذه الموجات، فليس ثمة فقدان للطاقة، بل على العكس فنحن نشاهد بشغافية جليّة كل موجة واضحة المعالم بالنسبة إلى الأخريات، مع أنه ليس لهذه الموجات بنية صلبة.

يعتبر مثال الموجات المنعزلة مثلاً بناءً لسببين: أولهما تبنياته إمكانية أن تكون مسألة قابلة للمعاملة على الرغم من كونها موصوفة بمعادلة معقدة وليس فيها تناظر ظاهري. ثم إن المثال يوضّح أن قابلية مسألة للمعاملة تؤدي إلى ظهور خصائص جماعية بالغة الأهمية. لنكرّر مجدداً أن خضوع سوليتونين لاصطدام لا ينجم عنه سوى تأخر في انتشار الموجة. وإذا ما قدّمت عدة سوليتونات من أية جهة من قناة، كلّ منها بسرعة وسعة amplitude معينتين، فإن الحالة الإجمالية للنظام (بعد مختلف الاصطدامات) لا تتعلق إلا بالحالة الابتدائية للنظام (أي حالته قبل حدوث أول اصطدام)، وهي لا تتعلق بتسلسل التأثيرات المتعاقبة. وعليه ينبغي إضافة هذه الخاصية - المتمثلة في اللاتغير بمبادلة permutation الاصطدامات - إلى قائمة الخصائص من هذا القبيل - مثل اللاتغير بالدوران - التي يحيط بها المختصون في المسائل القابلة للمعاملة.

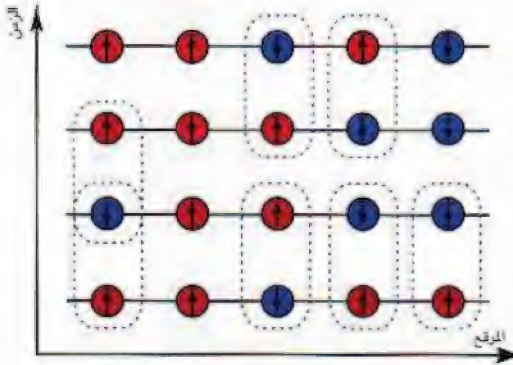
ويمكن نقل فيزياء الموجات المنعزلة الهيدروديناميكية، وكذا تناظرها، إلى مسائل فيزيائية أخرى. لنعتبر مثلاً حالة موصل كهربائي أحادي الأبعاد يضم جسداً من الإلكترونات. إذا كان هناك إلكترون واحد، فإن معادلة شرودينجر Schrödinger - التي تمثل معادلة أساسية في

التغيرات الميكروسكوبية (المجهريّة) microscopic للمركبات. وفي هذه الحالة، فإن الحلّ المضبوط مسألة معيّنة يعني التحديد المضبوط لسلوك التغيّرات الماكروسكوبية الواحدة بدلالة الأخرى. فالأمر يتعلق هنا مثلاً بتعيين درجة الحرارة التي ينتقل عندها جسم من حالة إلى أخرى (مثل انتقال الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية أو الحالة الصلبة) وذلك بدلالة الضغط أو بدلالة متغيّر آخر ترمودينامي (حركي حراري).

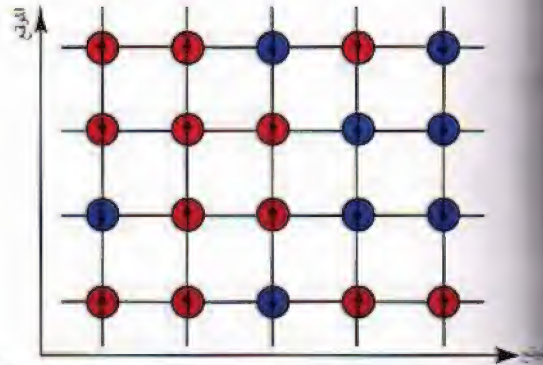
نتجّ قابلية المعاملة - في معظم الحالات المدروسة من قبل الفيزيائيين - من تناظرات أكثر تعقيداً من تلك التي جئنا على ذكرها حتى الآن. ولتوضّح ذلك من خلال ما يعرف بالسوليتونات soliton الهيدرودينامي (الحركي المائي) hydrodynamic. إنها ظاهرة شاهدها في منتصف القرن التاسع عشر المهندس «روسل» وهو يتجول، محتلياً حصانه، على ضفاف إحدى القنوات المائية. لقد شاهد «روسل» أن أمواجاً منعزلة تتشكل في القناة وتنتشر فيها على مسافات كبيرة من دون أن يتغيّر شكلها.

كائنات لامتغيرة: السوليتونات الهيدروديناميكية

تحكمّ في هذه الموجات الهيدروديناميكية - المسماة موجات منعزلة أو سوليتونات - إحدى معادلات ميكانيك السوائل التي تمّ البرهان عليها في أواخر القرن التاسع عشر. وكانت تلك المعادلة قابلة للمعاملة، إذ نعرف كيف نحسب بالضبط مَلَمَح "السوليتون الهيدرودينامي" - أي ارتفاع سطح الماء عند كل نقطة منه، وكيفية تحديد انتشار الموجة. ومن المذهل أكثر أننا نلاحظ - بالملاحظة والحساب معاً - أن موجتين منعزلتين ومتعاكستين في الاتجاه تتقاطعان وتخرق إحداهما الأخرى



الشكل 3: عندما يتطور نظام أحادي الأبعاد عبر الزمن - كما تتطور مجموعة مسطحة من السبينات حيث يستطيع كل منها تغيير اتجاهه في كل «خطوة» - نحصل (الشكل الأبيض) - فإن هذا النظام يصبح مكافئاً لنظام ثنائي الأبعاد أحادي الأبعاد على نظم ثنائية الأبعاد.



الشكل 3: عندما يتطور نظام أحادي الأبعاد عبر الزمن - كما تتطور مجموعة مسطحة من السبينات حيث يستطيع كل منها تغيير اتجاهه في كل «خطوة» - نحصل (الشكل الأبيض) - فإن هذا النظام يصبح مكافئاً لنظام ثنائي الأبعاد أحادي الأبعاد على نظم ثنائية الأبعاد.

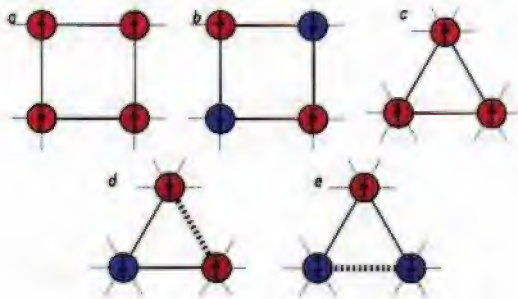
ثلاثة (انظر الشكل 2).

إننا لم نتطرق حتى الآن إلا لأنظمة أحادية الأبعاد - وهذا إما لكونها هكذا بشكل صريح، وإما لأن التناظرات كانت تسمح باختزال ضمني لمسألة متعددة الأبعاد فتردها إلى عدة مسائل مستقلة أحادية الأبعاد. والجدير بالذكر هنا أنه لا توجد مبرهنة تشير إلى أن المسائل الأحادية الأبعاد هي المسائل الوحيدة القابلة للمكاملة. لكن الواقع يبيننا بأن حل المسألة يزداد تعقيداً بقدر تزايد عدد أبعادها.

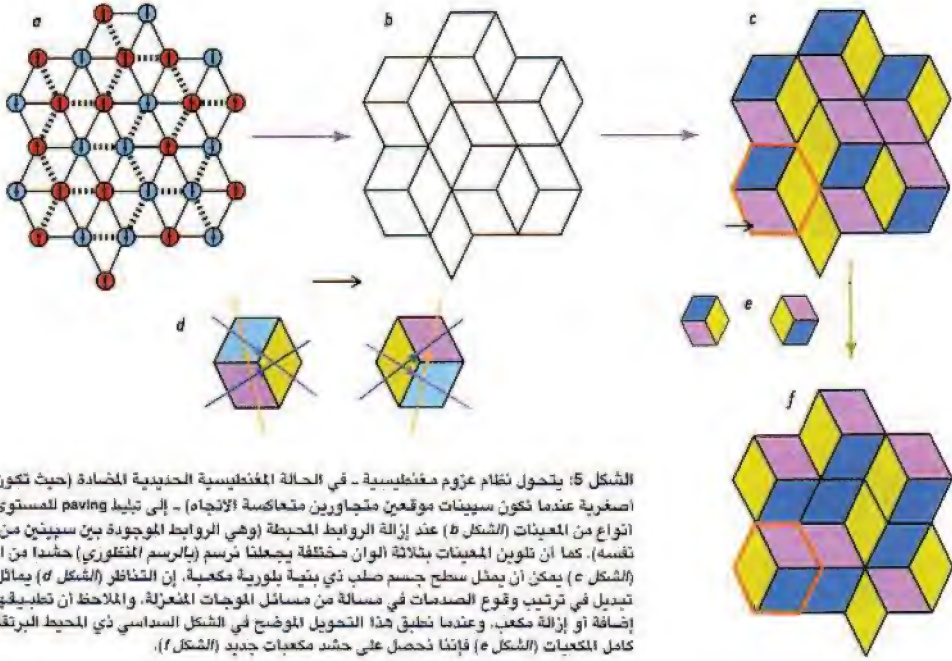
ويمكن الانتقال من حالة بُعد واحد إلى حالة بُعدين باعتبار أن جملة أحادية الأبعاد تتطور عبر الزمن تمثل نظاماً سكونياً ثنائي الأبعاد. لنلجأ مرة أخرى إلى المقارنة وذلك كما فعلنا لدى الانتقال من مسألة هيدرودينامية إلى مسألة جسيمات كمومية متأثرة. فعندما أشرنا إلى حالة الإلكترونات المتحركة على مستقيم كنا نريد وصف تطور مواقعها (أو بالأحرى، احتمال وجودها) عبر الزمن. لننظر إلى هذا النظام من زاوية أخرى. تكون الإلكترونات في لحظة معينة في هيئة ما تحددها مواقعها أو تحددها متغيرات أخرى. وفي اللحظة التالية تتغير هذه الهيئة، وهكذا دواليك. لنختِلي الآن أننا وضعنا هذه «اللمحظات» جنباً إلى جنب. يمكن أن نعتبر من الناحية النظرية بأننا تحصّلنا بذلك على نظام سكوني ذي بعدين (انظر الشكل 3).

الكيان الكمي لأنها تتحكم في تطور الدالة الموجية - تتنبأ بانتشار الدالة الموجية للإلكترون عبر الزمن: بمعنى أن الدالة لا تحافظ على شكلها. لتخيل الآن وجود عدد كبير من الإلكترونات، ولنفترض أنها لا تتأثر فيما بينها إلا عند نقطة التقائها، وهنا تتأخر بشدة. ضمن هذه الشروط، فإن الدالة الموجية الكلية للنظام ذي الطاقة المثبتة - وهي تكافئ مركب دوال موجية لجسيم واحد - تحافظ على بنيتها عبر الزمن شأنها في ذلك شأن موجة منعزلة.

وبهذا فإن التلاغير بعبارة الاصطدامات ينتقل أيضاً إلى هذا النظام المؤلف من جسيمات كمومية متأثرة عند نقاط تماسها. ماذا يحدث عندما يقع اصطدام بين جسيمين تابعين لنظام كمومي قابل للمكاملة؟ نلاحظ - كما هي الحال بالنسبة إلى السوليتونات المعهودة - أن ملامح الدوال الموجية تحفظ خلال الاصطدامات، وأن التأثير الوحيد لتلك الاصطدامات هو تأخر محتمل مقارنة بالانتشار الحر (أي الانتشار من دون اصطدامات). ومن ثم نشأت أن ترتيب وقوع الاصطدامات في النظام ليس له أهمية ذات شأن. والتأخرات المتراكمة وحدها هي التي لها أهمية. وكما هي الحال بالنسبة إلى السوليتونات الهيدرودينامية، فإن قابلية المكاملة لهذه المسألة ناجمة عن خاصية التلاغير بعبارة الصدمات بين الجسيمات. لذا باستطاعتنا استنتاج جميع خصائص النظام انطلاقاً من وصف الصدمات بين جسيمات



الشكل 4: عندما تعتبر حالة جسم مغناطيسي حديدي فإن طاقة تفاعل سبينين متجاورين طاقة أصغرية إذا ما كان للسبينات الاتجاه نفسه (جديداً متوازية). ويمكن إجمالاً تحقيق هذا الشرط سواء تعلق الأمر بشبكة مربعة (الشكل a) أو بشبكة مثلثية (الشكل c). وخلافاً لذلك فإن طاقة التفاعل في حالة جسم مغناطيسي حديدي مضاد تكون أصغرية عندما يكون للسبينين المتجاورين اتجاهان متعاكسان. وهذا يمكن ألا نخل بهذا الشرط في جميع نقاط شبكة مربعة (الشكل b) لكننا لا نستطيع ذلك في شبكة مثلثية (الشكل d و e). وينبغي أن نلاحظ في شبكة مثلثية مغناطيسية حديدية مضادة أن السبينات الثلاثة المتجاورة لا يمكن أن تكون جميعها متضادة التوازي: إذا كان سبينان متضادين التوازي، فإن الثالث يوازئ أحدهما. ومن ثم فلا بد أن يكون هناك إحصاء للروابط الوصلة بين السبينات المتجاورة، وهناك على الأقل ثلث عدد اتجاهات السبينات يستحيل إخضاعها لقيد التوازي المضاد.



الشكل 5: يتحول نظام عزوم مغناطيسية - في الحالة المغناطيسية الحديدية المضادة (حيث تكون الطاقة اصغرية عندما تكون سبينات موقعين متجاورين متعاكسة الاتجاه) - إلى بليد paving للمستوى بثلاثة أنواع من المعينات (الشكل b) عند إزالة الروابط المحيطة (وهي الروابط الموجودة بين سبينين من الاتجاه نفسه). كما أن تلوين المعينات بثلاثة ألوان مختلفة يجعلنا نرسم (بالرسم/المنظوري) حشداً من المكعبات (الشكل c) يمكن أن يمثل سطح جسم صلب ذي بنية بلورية مكعبة. إن الشناظر (الشكل d) يماثل إجراء تبديل في ترتيب وقوع الصدمات في مسالة من مسائل الموجات المنعزلة، والملاحظ أن تطبيقها يكافئ إضافة أو إزالة مكعب. وعندما نطبق هذا التحويل الموضح في الشكل السداسي ذي المحيط البرتقالي على كامل المكعبات (الشكل e) فإننا نحصل على حشد مكعبات جديد (الشكل f).

من حالة بُعد واحد إلى حالة بُعدين⁽¹⁾

عددا كبيرا من السبينات يتجه نحو الاتجاه نفسه: ذلك أن هناك مغنة شاملة للمادة المستعملة. وعندما تكون درجة الحرارة المطلقة منعدمة. فإن جميع السبينات تركز في الاتجاه نفسه وتكون المغنة أعظمية. وعلى العكس من ذلك، عندما تكون درجة الحرارة مرتفعة فإن التقلبات الحرارية تتغلب على التأثيرات المتبادلة: يكون للعزوم المغناطيسية اتجاه عشوائي وتكون المغنة الشاملة الناجمة عنها معدومة. وهكذا عندما ترتفع درجة الحرارة فإن طور phase النظام يتغير، حيث ينتقل من طور مغنط إلى طور غير مغنط.

يسمح نموذج «ايزنك» ومشتقاته بوصف مختصر لبعض نواحي عدد كبير من الظواهر: من تغير الأطوار المغناطيسية إلى تأثيرات الجسيمات الأولية مروراً بالتحويل سائل-غاز. لتركز الآن على الحالة ذات البعدين. فبفضل التشابه القائم بين نظام سكوني ذي بعدين ونظام أحادي الأبعاد يتطور عبر الزمن يمكن القيام بحساب مضبوط لنموذج «ايزنك» في حالة بعدين، وكذا حساب متغيرات ترمودينامية أخرى. كان هذا الحل المضبوط عملاً رياضياتياً بالغ الأهمية، أنتجه عام 1944 الفيزيائي النرويجي «أ. أونساغر»، وذلك بعد أكثر من عشرين سنة من تاريخ إدخال نموذج «ايزنك».

نموذج «ايزنك»، نموذج مثالي للفيزياء الإحصائية⁽²⁾

يمكن بصفة عامة، في حالة بعدين، إنشاء نماذج قابلة للكاملة لوصف ظواهر جماعية تؤدي إليها التأثيرات الميكروية للجسيمات. ومن أبسط صيغ نموذج «ايزنك» نموذج المغناطيسية الحديدية المضاد antiferromagnetic، حيث يساعد التأثير المتبادل على وجود اتجاهين

يتمثل تغيير وجهة نظرنا للمسألة في اعتبار الهياكل configurations المختلفة لنظام أحادي الأبعاد على فترة زمنية معينة بمثابة مجموعة هيئات سكونية لنظام ذي بعدين في لحظة واحدة. وهكذا تلمح كيف يمكن أن تعمم الطرق المطبقة على الأنظمة الأحادية الأبعاد القابلة للمكاملة لتشمل دراسة الظواهر السكونية ذات البعدين. غير أن ما يشغل بال الفيزيائيين في كثير من الحالات هو الخصائص السكونية للنظام. ذلك ما نلاحظه في الترمودينامية، وفي الفيزياء الإحصائية، حيث يتركز اهتمامنا على تغيرات حالة جسم بدلالة درجة الحرارة أو الضغط أو حقل مغناطيسي خارجي أو مقدار فيزيائي آخر. إن نمط النماذج المستخدمة من قبل المختصين في الفيزياء الإحصائية هو نموذج ايزنك Ising، الذي أدخله الفيزيائي الألماني «و. لنز» عام 1920 ثم واصل البحث فيه تلميذه «E. ايزنك». ويتمثل النموذج في شبكة نقاط موزعة بصفة دورية نضع فوقها عزوماً مغناطيسية، المكافئ للميكروسكوبي لمغناطيسات صغيرة. ومن حيث المبدأ، يمكن أن تكون لهذه الشبكة أبعاد فضائية بالقدر الذي نريد، كما أن شكلها الهندسي يمكن أن يكون كيفياً. وفي أبسط الحالات، التي تفيد مثلاً في نمذجة بلور مغناطيسي، نجد أن الشبكة مكعبة cubic والعزوم المغناطيسية تمثل سبين spin (أي العزم المغناطيسي الذاتي intrinsic) ذرات الشبكة البلورية. إضافة إلى ذلك، فإننا نفترض أن العزوم المغناطيسية لا تأخذ سوى قيمتين متعاكستين في الاتجاه، وأنها لا تتأثر إلا مع أقرب جيرانها.

نقول عن التأثير إنه مغناطيسي حديدي إذا مال كل سبينين متجاورين إلى التوجه نحو الاتجاه نفسه. وعليه نجد في حالة انخفاض درجة الحرارة - عندما تكون التقلبات الحرارية ضعيفة - أن



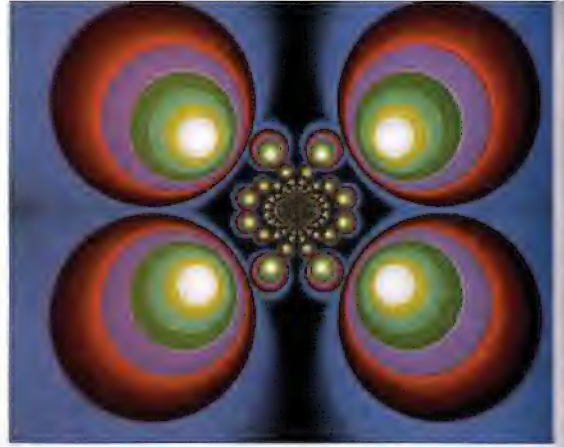
يتغير. فعلى سبيل المثال تصبح الدوائر غير متفرقة لكنها تتحول إلى دوائر. إن هذه الخاصية لامتناهية بالنسبة إلى التحويل، يسمح وجود اللاشعيرات للفيزيائيين بتصنيف نظم فيزيائية في الصنف نفسه في حين أنها قبلها مختلفة.

ألوان للتمييز بين أنماط المعينات الثلاثة في التبليط، وهو ما يجعلنا نظهر (في رسم منظور) تكديسًا ثلاثي الأبعاد يتألف من مكعبات، والواقع أن ذلك التكديس يعرف سطحًا فاصلًا لبلورين مكعبي الشبكة، أحدهما مشكل من تكديس مكعبات والآخر مما تبقى، وعندما نصيغ بهذا الشكل نموذج «أيزنك» للمغناطيسي الحديدي المضاد فإنه يصبح مثالا لنموذج يدعى «صَلْب على صَلْب» solid on solid ويكتب اختصارا (SOS). وفي هذا الإطار، يمكننا استكشاف جميع الهياكل الممكنة للسطوح الفاصلة، أي تكديسات المكعبات وذلك بإضافة أو إزالة مكعبات أولية بصورة متعاقبة.

في التمثيل المنظوري نلاحظ أن العملية الأولية الموافقة لإضافة أو إزالة مكعب تتمثل فقط في المبادلة permutation بين المعينات الثلاثة داخل الشكل السداسي. ثم إن هذا التحويل الأولي يذكّرنا بالمفهوم الأساسي في قابلية المكاملة، إنه استقلال سيرورات الاصطدامات عن الترتيب الزمني لحدوث تلك الاصطدامات، وعندما نترجم ذلك إلى لغة نموذجنا الإحصائي فإن اللاتغير المشار إليه هنا يؤدي إلى إمكانية استنتاج الخصائص الإجمالية للنظام من تعداد هياكل ثلاثة مواقع متجاورة. وفي إطار أعم للنظم القابلة للمكاملة يمكن التعبير عن هذا التناظر - الرابط بين الخصائص الإجمالية للنظام ومميزاته المحلية - بوساطة علاقات رياضية، تدعى علاقات يانك-بaxter، كان قد أدخلها في أواخر الستينات من القرن الماضي الفيزيائي الصيني «N. Ch» يانك والفيزيائي الأسترالي «R» بكستر.

التنوع الموحد⁽⁴⁾

تسمح قابلية المكاملة بإقامة روابط بين ظواهر فيزيائية متنوعة إلى حد كبير. وهكذا نلاحظ في نموذج موضّح على شبكة أن المركبات الواقعة في عُقد الشبكة تتأثر وفق قواعد يمكن للفيزيائي اختيارها بالشكل الذي يريده. وحسب التأثير المختار، فإن خصائص النظام يمكن أن تكون جد مختلفة. فعلى سبيل المثال نلاحظ في نموذج



الشكل 6: تعتبر فسيفساء دورية تغطي المستوى مكونة من دوائر متفرقة (الشكل اليسار، الخلية الأولية)، ثم نخلق عليها التحويل المطابق $z \rightarrow 1/z$ الذي يحول كل نقطة (x, y) إلى النقطة $[y/(x^2+y^2), x/(x^2+y^2)]$. عدّدنا نلاحظ أن مظهر الفسيفساء

متعاكسين لعزمين مغناطيسيين متجاورين، وليس مساعدة الاتجاهات المتطابقة، كما هي حال النموذج المغناطيسي الحديدي. وهكذا نلاحظ في حالة شبكة مربعة أن الحالة الأساسية - أي حالة الطاقة الأصغر - لجموعة العزوم المغناطيسية المدومة الحرارة تمكّن بنية شبيهة برقعة الشطرنج: كل سبين محاط بسبينات اتجاهها معاكس لاتجاهه. إن الوضع يزداد تعقيدا إذا ما عرفنا النموذج على شبكة ذات هندسة مختلفة: مثلا، شبكة مثلثة. نجد في هذه الهندسة أن كل عزم مغناطيسي قريب من ستة جيران (انظر الشكل 4). عندما تكون درجة الحرارة جد منخفضة فإن عدد ثنائيات العزوم المغناطيسية المتجاورة والمتجهة في اتجاهات متعاكسة ينبغي أن يكون أعظميا، نقول عن ثنائية سبينين متجاورين متجهين باتجاه واحد إنها مُحْبَطَة frustrated إلا أننا نرى بسهولة في حال شبكة مثلثة أن هناك ثنائيتين فقط من بين ثلاث يمكن أن تتلا معا روابط ملأمة، أي سبينات متضادة التوازي antiparallel.

وفي نموذج المغناطيسية الحديدية هناك حالة واحدة مستقرة الطاقة في درجة حرارة منخفضة: إنها الحالة التي تكون فيها العزوم المغناطيسية متجهة في الاتجاه نفسه، أما في حالة المغناطيسية الحديدية المضادة فيوجد عدد من حالات التوازن يساوي عدد إمكانيات ترتيب ثنائية العزوم المغناطيسية المحبطة وغير المحبطة على الشبكة. وعندما تكون درجة الحرارة متدومة، فإن نموذج المغناطيسية الحديدية المضادة يقبل المكاملة. دعنا نحاول إدراك السبب. لنبدأ بإثبات أن هذا النموذج للمغناطيسية المحبطة يكافئ مسألتين أخريين. من أجل ذلك نزيل الروابط المحبطة، أي روابط الشبكة التي تصل عزوما مغناطيسية لها الاتجاه نفسه، وبذلك نشكّل معيّنات rhombuses - تتألف من ثنائيات مثلثية - تشتترك في رابط محيط (انظر الشكل 5). إننا أمام مسألة تبليط paving عشوائي للمستوي ذات علاقة بغيرياء أشباه البلورات. ونستخلص من ذلك أن هناك عددا من الحالات الأساسية في النموذج الابتدائي المغناطيسي الحديدي المضاد يساوي عدد التبليطات الممكنة للمستوي بوساطة معيّنات من تلك الأنماط الثلاثة. توجد صياغة أخرى للمسألة نفسها تتمثل في استخدام ثلاثة

التقليد بواسطة المعيّات الوارد أنفاً أن بعض الاختيارات للتأثرات المحلية تضمن ارتباط توجيه أي معيّن بالعبيّات التي تفصلها عنه مسافات كبيرة جداً. ومن ثمّ يحدث أحياناً أن تكون المسافات المميّزة التي تؤثر فيها هذه الارتباطات، مسافات تقارب في مقاديرها حجم النظام بأكمله. في هذه الحالة يكون الحديث عن نظم حرجية. ولنظم كهذه، لا تؤثر كثيراً التفاصيل على المستوى المحلي في الخصائص الإجمالية أو الجماعية، وفي النموذج SOS مثلاً، نستطيع أن نعوّض تكسّس المكعبات الصغيرة بسطح متصل من دون أن نفقد معلومات مفيدة في موضوع عرض المسألة - كما لو لاحظنا الوضع من بعد إثر إزالة تفاصيل الحالة الابتدائية.

وهكذا، وعلى ضوء ما ذكرنا آنفاً، فإن ربط التفاصيل الميكروية للنموذج بالطبيعة «الحرجية» للنظام، يضعن تعادل النظر مجهرياً لجزء من النظام مع النظر إلى النظام بأكمله (انظر الشكل 1). وفي هذه الحالة نتحدث، على اللاتغير بتبديل السلم، وفي الحالة الخاصة للنظم الثنائية الأبعاد، يؤدي هذا اللاتغير إلى لاتغير إثر التحويّلات المطابقة⁽¹⁾ المحلية، أي تلك التحويّلات التي كان من المفترض أن تتغير تبعاً لاتغير السلم من نقطة إلى أخرى من نقاط النظام. تلك هي الفكرة التي استغلها عام 1984 الباحثون السوفييت⁽²⁾ «أ. بلافين» و«أ. بولياكوف» و«أ. زمولودشيكوف» كي يرسوا أسس اللاتغير المطابق الثنائي الأبعاد⁽³⁾.

اللاتغير وقابلية المكاملة⁽⁴⁾

يعتبر اللاتغير مؤشراً ينبيء بقابلية تلك النظم للمكاملة. وقد سمح ثراء بنية اللاتغير المطابق بفرز وتصنيف مختلف السلوكيات الحرجية التي يمكن أن تظهر في النظم الثنائية الأبعاد ذات التأثير المحلي (أي حيث لا تتأثر سوى المواقع المتجاورة). كما مكّن أخيراً من وضع جدول شبيه بجدول «مديليث» يبرز الظواهر الجماعية لتلك النظم. وينبغي أن نذكر هنا أن كل عنصر من الجدول يوافق العديد من النظم على شبكة مستوية تشترك في كثير من السلوكيات الجماعية الحرجية؛ تسمى هذه العناصر صفوفاً شمولية، فعلى سبيل المثال، نلاحظ أن جميع نماذج «أيزنك» المغنطيسية الحديدية الثنائية الأبعاد تنتمي إلى صف شمولية واحد، وذلك مهما كانت الشبكة المستوية المختارة. وعلى العكس من ذلك، فقد سبق أن رأينا أن الحالة المغنطيسية المضادة أقل «شمولية» لأنها مرتبطة ببنية الشبكة. نلاحظ أن بعض الأشكال الهندسية تؤدي إلى إحباط ثنائيات السبينات، لكن هذه الحالة التي تُطرح في كثير من المسائل الفيزيائية تسمح ببلوغ صفوف شمولية أخرى في الجدول المذكور. من جهة أخرى، فإن اللاتغير المطابق وجد تطبيقات حديثة تسمح بنسجة مواد جديدة ذات أبعاد نانومترية⁽⁵⁾ ومن أجلها تمّ تبني وصف شبه أحادي الأبعاد.

وخلال العشرين سنة الأخيرة اكتسبت النظم القابلة للمكاملة، بفضل ثرائها البنوي، مكانة مرموقة في الرياضيات والفيزياء. وكان ذلك قد بدأ باكتشاف صلة بين مفاهيم قابلية المكاملة ونظرية الجيوب algebras غير التبادلية المرتبطة بتباديل permutations مجموعة أشياء. ذلك أن الرابط بين اصطلاحات N جسيما وتباديل N جسيما يتمثل في النظر إلى العناصر التي تجري عليها التبديل كثنائيات الجسيمات نفسها، علماً بأن ترتيب مواقع الجسيمات يتبادل خلال كل اصطدام. توفّر عناصر زمرة group التباديل الحل الأبسط لعلاقات

يانك-بكستر، كما أنها توافق جسيمات من دون تأثر. أما إذا كانت الجسيمات متأثرة غالباً من إجراء تعديل في صيغة الحل. وقد أثبتت الدراسة العامة لحلول معادلات يانك-بكستر أنها دراسة مشفرة، ذلك أنها أدت في الرياضيات إلى ميلا نظرية الزمر الكمومية التي أدخلها خلال التسعينات من القرن العشرين الروسي «أ. درينفيلد» (الحائز ميدالية فيلدر لعام 1990) والياباني «M. جيميو» والبولندي «S. ورونوفيتش» كما أنها أظهرت صلات مع نظرية العُقد استفاد منها بوجه خاص «V. جوشي» (الحائز ميدالية فيلدر لعام 1990).

تفرعات عدة في الفيزياء والرياضيات⁽⁶⁾

لقد جرت دراسة النماذج SOS الأتفة الذكر على صعيد آخر حيث تمّ اعتبار شبكات هندساتها تتغير عشوائياً من نقطة إلى أخرى، وذات طوبولوجيات مختلفة. وقد اتضح أن هذه النماذج ذات الهندسات المتقطعة قابلة للمكاملة أيضاً، وأدى حلّها إلى تصنيف تأثيرات هندسة عشوائية في الظواهر الحرجية الثنائية الأبعاد. ويفضل دراسة نماذج مماثلة استطاع «M. كوتسيفتش» (الحائز ميدالية فيلدر عام 1998، وعضو معهد الدراسات العليا العلمية الفرنسي IHES، الواقع في ضاحية بورس سورفيلت الباريسية) تجديد الهندسة التعدادية⁽⁷⁾، وهي فرع قديم من فروع الرياضيات يعنى بتعداد أشياء (مستقيمات، مستويات، الخ.) خاضعة لعلاقات ذات صلة بتقاطعاتها. إضافة إلى ذلك، فإن هذه النماذج غالباً ما تُعتبر كصيغات أولية لنظريات الأوتار التي تدعي أنها توحد بين نظرية النسبية العامة والنظرية الكمومية. وهكذا فإن دراسة النظم القابلة للمكاملة وعلاقات يانك-بكستر تشعّت اليوم وتولدت منها تفرعات عدة في الفيزياء والرياضيات، فعالم قابلية المكاملة، عالم شبيه بنظام بيئي، توسّع بشكل معتبر مقترحاً فروعا فيزيائية ورياضياتية بأكملها قصارت جميعها لتشكّل اختصاصاً جديداً هجيناً - يعيد النظر في مفاهيمه حقيقياً من موضوع إلى آخر، مقيماً بذلك جسوراً بين حقول علمية لا صلة بينها قبلياً⁽⁸⁾.

Invariance et intégrabilité (4)

Des ramifications nombreuses en physique et en mathématiques (4)

Invariance conforme bidimensionnelle (5) conforme (5)

النانونمتر: وحدة قياس طول تساوي جزءاً من بلون من المتر. وعلى سبيل المثال فإن سمك شعرة من شعر الإنسان يراوح بين 50 ألف و 100 ألف نانومتر.

la géométrie énumérative (5) a priori (4) (التحيز)

المؤلفان

Denis Bernard - Philippe di Francesco

«جورناله» مدير أبحاث لدى المركز القومي للبحث العلمي الفرنسي CNRS. فاز عام 2004 بالميدالية الذهبية لهذا المركز. «دي فرنسيسكو» كان أستاذ رياضيات في جامعة شييل فيل بالولايات المتحدة الأمريكية، وهو فيزيائي لدى هيئة الطاقة الذرية الفرنسية. يعمل المؤلفان الآن في قسم الفيزياء النظرية بساكي (فرنسا)

مراجع للاستزادة

O. BABELON, D. BERNARD et M. TALON, Introduction to classical integrable systems, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

© DI FRANCESCO, P. MATHIEU et D. SÉNÉCHAL, Conformal field theory, Springer Verlag, New York, 1997.

Pour la Science, No. 336

سرعة تأثرها هذه قد تساعد علماء الأعصاب على فهم بعض الاضطرابات الدماغية التي توهن الذات. ويقول «سيلي»: «من المستغرب أننا لا نعثر على تغيرات باثولوجية معينة لداء الزاير أو أشكال الخرف الأخرى لدى الأنواع الحيوانية غير البشرية».

وحسب رأي «سيلي»، تتفق نتائج دراسات التصوير الدماغية الحديثة عن الذات مع نتائج ونتائج غيره على المصابين بداء الزاير وأنواع الخرف الأخرى. فالمصابون بداء الزاير تتكون لديهم بروتينات متشابكة tangled في عصبوناتهم. ويُعدّ الحصين والظُّلُّ بعض أولى المناطق المتضررة بذلك، وهما من البياض الدماغية التي تشارك في ذاكرات السيرة الذاتية autobiography. ويقول «سيلي» في هذا الصدد: «إنهما تساعدان على استحضار صور ماضيك ومستقبلك إلى العقل وتلاعبان بها. ويكون المصابون بداء الزاير أقل مقدرة على الانتقال إلى الأمام والخلف عبر الزمن بشكل سلس».

كم هو مفرح لأفراد الأسرة رؤية محبوبهم مستمرًا لداء الزاير، وهناك أنواع أخرى من الخرف قد تكون ذات تأثيرات أشدّ عنفاً على الذات. ففي حالة تعرف بالخرف الجبهي الصدغي frontotemporal dementia تتنكس قطاعات من القِصْبِ الجبهي والصدغي. وفي كثير من الحالات يُصيب التلف القشرة الحية أمام الجبهية الوسطى. وحين يبدأ هذا المرض يبطل بشبكة الذات يبدأ المرء يعاني تغيرات غريبة في شخصيته.

وفي مجلة علم الأعصاب Neurology لعام 2001، وصف «سيلي» وآخرون معه مريضة كانت تجمع الجواهرات والكريستالات الراقية فترة طويلة من عمرها قبل أن تبدأ فجأة بجمع حيوانات محشّطة يوم بلغت سن الثمانية والسّتين. ومع أنها محافظة conservative، فقد بدأت تؤنّب الناس الذين يشتررون الكتب ذات الصبغة المحافظة في دور البيع وأعلنت أنّ «الجمهوريين يجب استئصالهم من البسيطة». وثمة مرضى تحولوا عن دينهم

فجأة إلى أديان جديدة أو استحوذهم وسواس الرسم أو التصوير. ولكن هؤلاء المرضى لا يدرون لماذا لم يعودوا يحتفظون بذواتهم القديمة. ويقول «سيلي» في هذا الصدد: «إنهم يقولون أشياء سطحية جداً (مثل: هذا ما أنا عليه الآن وكفى)». ونشير إلى أن الخرف الجبهي الصدغي يمكن أن يقود إلى الموت خلال سنوات قليلة.

يعتقد «M. كازانكا» [مدير مركز دارتموث للعلوم العصبية المعرفية وعضو المجلس الرئاسي حول الأخلاقيات البيولوجية] أنّ حل لغز الذات قد يطرح نوعاً جديداً من التحدي الأخلاقي. فهو يقول: «أظن أن ثمة مساراً سيتمثل في تفصيل دارات الذات إلى: الذاكرة المرجعية للذات self-referential memory، وتوصيف الذات self-description، والشخصية personality، وإدراك الذات self-awareness، وأن ثمة مساراً سيتمثل في الحس بما يجب أن يكون مناسباً لجعل الذات ناشطة».

ويوحي «كازانكا» بأن الأمر قد يصل إلى إمكانية أن يستطيع المسح الدماغية ذات يوم أن يحدد ما إذا كان داء الزاير (أو بعض أنواع الخرف الأخرى) قد أتلّف الذات لدى المصاب به، ويتساءل «كازانكا» عما إذا كان الناس

سيبدؤون أخذ موضوع ضياع الذات loss of the self بعين الاعتبار حين يكتبون وصية المات أثناء حياتهم. ويتنبأ «كازانكا» قائلاً: «ستظهر تعاليم جديدة. وستكون القضية فيما إذا كنت ستوفر الرعاية الصحية لهؤلاء. فإذا أصيب الناس بمرض ذات الرئة، هل ستعطاهم مضادات (صادات) حيوية أم تتركهم يرحلون؟» أما «سيلي» فيقدّم نبوة محافظة أكثر، إذ يجادل بأن المسح الدماغية بعد ذاته قد لا يغير عقول الناس بخصوص ما يتخوّنونه من قرارات حول الحياة والموت، فهو يعتقد بأن القيمة الحقيقية لعلم الذات ستظهر في معالجات داء الزاير وأشكال الخرف الأخرى. ويقول في هذا الصدد: «يوم نعرف المناطق الدماغية التي تضطلع بمثل الذات، أظن أننا سوف نلّم بنظرة أكثر قرباً في تحديد الخلايا ذات الأهمية في تلك المنطقة الدماغية، ومن ثم نعمّق النظر باتجاه الجزيئات داخل الخلايا واتجاه الجينات التي تحكم تلك الجزيئات وصولاً إلى سرعة التأثير vulnerability هذه. وإذا ما حققنا ذلك تكون قد اقتربنا أكثر فاكتر من معرفة آليات هذا الداء وعلاجه. وذاك هو أفضل سبب لدراسة كل هذا. إن الأمر لا يقتصر على مجرد تبصير الفلاسفة.» ■

المؤلف

Carl Zimmer

صحفي بليغ في كونيكتيكت. وقد جرى نشر أحدث كتبه مؤخراً تحت عنوان: «Soul Made Flesh»؛ اكتشاف الدماغ وكيف غير العالم.

مراجع للاستزادة

A Self Less Ordinary: The Medial Prefrontal Cortex and You. C. Neil Macrae, Todd F. Heatherton and William M. Kelley in *Cognitive Neurosciences III*. Edited by Michael S. Gazzaniga. MIT Press, 2004.

Is Self Special? A Critical Review of Evidence from Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience. Seth J. Gillman and Martha J. Farah in *Psychological Bulletin*, Vol. 131, No. 1, pages 76-97; January 2005.

The Lost Self: Pathologies of the Brain and Identity. Edited by Todd E. Feinberg and Julian Paul Keenan. Oxford University Press, 2005.

Conflict and Habit: A Social Cognitive Neuroscience Approach to the Self. Matthew D. Lieberman and Naomi I. Eisenberger in *Psychological Perspectives on Self and Identity*, Vol. 4. Edited by A. Tesser, J. V. Wood and D. A. Stapel. American Psychological Association (in press). Available online at www.scn.ucla.edu/pdf/rt4053_c004Lieberman.pdf

مسرعات بلازمية⁽¹⁾

طريقة جديدة لتسريع الجسيمات، تعد بإطلاق عدد كبير من التطبيقات. وفي هذه الطريقة «تركب» الجسيمات متن موجة من البلازما.

«جوشي»

تضاعف عشر مرات كل عقد من الزمن. قبل سيستمر هذا التقدم؟ ربما تكون الآلات المعتمدة على الموجات الميكروية قد اقتربت من حدود ما هو مُجدّ تقنيا واقتصاديا. لقد ألغى الكونكرس عام 1993 مشروع المصادم الفائق ذي الموصلية (الناقلية) الفائقة Superconducting Super Collider project الذي تبلغ تكلفته 8 بلايين دولار، وهو المسرع الذي يبلغ قطره 28 كيلومترا، والذي يُفترض أن تكون استطاعته ضعف استطاعة المسرع LHC. ويأمل العديد من فيزيائيي الجسيمات الآن أن يلي المسرع LHC مصادم خطي طوله 30 كيلومترا، لكن ليس هناك من أحد يستطيع أن يتنبأ بأن هذا المصادم، الذي تبلغ تكلفته عدة بلايين من الدولارات، سوف يكون أوفر حظا من المصادم الفائق.

وربما تكون الطرائق الجديدة لتسريع الجسيمات، والتي تستخدم الحالة الرابعة من حالات المادة (بعد الحالات الصلبة والسائلة والغازية)، والتي تدعى بلازما⁽²⁾، قد أتت في الوقت المناسب مبشرة بالنجاح في تحقيق مسرع للفيزياء، عند أعلى الطاقات (100 بليون إلكترون فلت وأكثر). ويمكن لهذه الطريقة المعتمدة على البلازما أن تُنقص حجم مثل هذا المسرع وتكلفته بقر مذهب.

ليست المسرعات العملاقة، العاملة بالقرب من الحدود العليا للطاقة التي تتطلبها الأبحاث الفيزيائية، سوى جزء من الحكاية. إذ تُستخدم، إضافة إلى هذه المسرعات، آلات أصغر منها في علم المواد، البيولوجيا البنيوية، الطب النووي، أبحاث الاندماج، تعقيم الأطعمة، المعالجة التحولية للنفايات

الفرنسية السويسرية. وبعد استكمال بناء هذا المصادم عام 2007، يجب أن تُفبرنا تصادمات حزمته البروتونيتين، وطاقة كل منهما 7 تريليونات إلكترون فلت (7 TeV)، بما يعطي الجسيمات كُتَلها [انظر: «الغاز الكتلة»، العلوم، العدد 12 (2005)، ص 12]. وتُصالح آلات أخرى، قيد العمل حاليا، توضح سبب احتواء الكون من المادة أكثر مما يحوي من المادة المضادة، وتعطينا تلك الآلات لمحة عن حالة المادة البدائية المدعوة بلازما الكواركات والكلونات quark-gluon plasma. إن جميع هذه المصادمات تقرب على تقانة قديمة ضخمة الحجم عمرها عشرات السنين، وتُسرع الجسيمات فيها بالموجات الميكروية.

وخلال الأعوام الخمسة والسبعين الماضية أدت هذه الآلات وأسلافها إلى اكتشافات مهمة حول طبيعة الجسيمات الأساسية وحول سلوك المادة النووية. وجعل التقدم في علم مسرعات الجسيمات وهندستها ذلك السيل من الاكتشافات ممكنا. بتمكينه العلماء من بناء آلات ذات طاقة

يستخدم الفيزيائيون مسرعات الجسيمات particle accelerators للإجابة عن بعض أكثر الأسئلة عمقا حول طبيعة الكون. وهذه الآلات الضخمة تسرع الجسيمات المشحونة لتبلغ سرعة الضوء تقريبا، ثم تُصاهاها بعنف معا معيدة بذلك خلق الشروط التي كانت موجودة حين وُلد الكون بعنف فجأة في الانفجار الأعظم big bang. ويأمل الفيزيائيون، من تحليل الحطام الناتج من التصادمات، أن يفهموا كيف أن القوى والجسيمات الموجودة في كوننا، والتي تبدو متباينة، مترابطة جميعا، وأنها توصف بنظرية موحدة. لكن، من سوء الطالع، كلما اقترب الفيزيائيون من حل لغز الخلق هذا أكثر، احتاجوا إلى مسرعات ذات استطاعة (وتكلفة) أكبر.

إن أضخم مسرعات الجسيمات هو المصادم الهادروني الكبير Large Hadron Collider (LHC) ذو القطر البالغ 8.6 كيلومتر، والذي يجري بناؤه حاليا في المختبر الأوروبي لفيزياء الجسيمات CERN على الحدود

نظرة إجمالية/ ركوب متن البلازما⁽³⁾

- استخدمت مصادمات الجسيمات على مدى عقود فجوات الموجات الميكروية لدفع حزم الجسيمات إلى سرعة الضوء تقريبا. إن ذلك النهج، ممثلا بالمصادم الهادروني الكبير LHC الذي يبلغ قطره 8.6 كيلومتر يوشك أن يبلغ حدوده التقانية والاقتصادية.
- تُعد تقنيتان جديدتان، تكتسب فيهما الإلكترونات أو البوزترونات الطاقة بركوبها متن موجة في غاز متاين، أي في بلازما، باختزال حجم وتكلفة هذه المسرعات العالية الطاقة التي يستخدمها فيزيائيو الجسيمات لدراسة مسائل من قبيل أصل الكتلة في الكون. لكن هذه التقنيتان لم تُستعرض حتى الآن إلا في تجارب مخبرية صغيرة.
- سوف تمكن الآلات البلازمية أيضا من بناء مسرعات يمكن وضعها على الطاولة، واستخدامها في مجال واسع من التطبيقات ذات الطاقة المنخفضة، ومنها علم المواد والبيولوجيا البنيوية والطب النووي وتعقيم الأطعمة.

PLASMA ACCELERATORS (1)

Overview / Surfing on Plasmas (2)

plasma، أي غاز متاين. (3)



ليست المسرعات التي يمكن وضعها على الطاولة، والتي تُنتج حزم إلكترونات في مجال الطاقة بين 100 و 200 ميكا إلكترون فولت (MeV)، سوى أحد أنواع الآلات التي يمكن صنعها بواسطة التسريع البلازمي.

النووية، معالجة بعض أنواع السرطان. إن هذه الآلات الصغرى تُنتج حزم إلكترونات أو بروتونات ذات طاقة منخفضة نسبياً، في مجال الـ 100 مليون إلى بليون إلكترون فولت. لكنها مازالت تحتل حيزاً كبيراً في المختبرات. أما المسرعات البلازمية المتراصة جداً، أو «مسرعات سطح الطاولة»، فتتشر بتوفير حزم إلكترونات في مجال الطاقة المذكور.

الموجات الميكروية مقابل البلازما^(١٢)

قبل أن أشرح التقنية الجديدة، من المفيد مراجعة بعض أسس المسرعات. تُصنّف المسرعات في بضعة أصناف واسعة فقط، فهي، أولاً، تُسرّع إما الجسيمات الخفيفة (الإلكترونات والبوزترونات)، أو الجسيمات الأثقل (مثل البروتونات والنيوترونات المضادة). وثانياً، يمكن أن تُسرّع الجسيمات في مرور واحد على طول خط مستقيم، أو في مدارات عديدة حول حلقة مستديرة. إن المسرع LHC، على سبيل المثال، هو حلقة تصادم فيها حزمتان من البروتونات، أما المصادم الذي يامل الفيزيائيون بناؤه بعد المسرع LHC، فسيكون مصادمًا خطيًا للإلكترونات والبوزترونات، وستكون الطاقة عند نقطة التصادم في البداية بجوار نصف تريليون إلكترون فولت. عند هذه الطاقة، يجب أن تُسرّع الإلكترونات والبوزترونات على خط مستقيم، لأن تسريعها في حلقة يسبب ضياعاً زائداً للطاقة ينجم عن عملية تدعى الإشعاع السنكروتروني^(١٣) synchrotron radiation، إن التسريع الخطي للإلكترونات والبوزترونات هو أكثر ما يناسب التسرعات المعتمدة على البلازما.

يسرّع المصادم العادي الجسيمات بواسطة حقل كهربائي يتحرك متزامناً مع الجسيمات. وتولّد بنية تدعى تجويف الموجة البطيئة slow wave cavity (وهي أنبوب معدني فيه حركات متوضعة بفواصل متساوية) الحقل الكهربائي باستخدام إشعاع موجات ميكروية شديدة. لكن استخدام البنية المعدنية يحد من شدة حقل التسريع التي يمكن بلوغها. فعند حقل تراوح

لا تبدو الحزم الليزرية وحزم الجسيمات المشحونة، أول وهلة، ملائمة تماماً لتسريع الجسيمات. فمع أن حقولها الكهربائية شديدة جداً، فإن تلك الحقول في الغالب متعامدة مع اتجاه الانتشار. وكما يكون

شده بين 20 و 50 مليون فولت في المتر، يحدث انهيار كهربائي، أي يقفز الشرر وينفجر التيار من جدران التجويف، ونظراً إلى أن الحقل الكهربائي يجب أن يكون أضعف من عتبة الانهيار، فتحة حاجة إلى مسار تسريع طويل

تعدّ المسرعات البلازمية التي توضع على الطاولة بتوفير حزم إلكترونات للتطبيقات المنخفضة الطاقة.

الحقل الكهربائي في المسرع فعالاً، يجب أن يكون اتجاهه باتجاه حركة الجسيم. يدعى مثل هذا الحقل طولياً. ومن حسن الطالع، حين تُرسل حزمة ليزيرية أو حزمة جسيمات مشحونة عبر البلازما، يمكن أن يحدث التأثير معها حقلاً كهربائياً طولياً.

للتوصل إلى طاقة معينة، على سبيل المثال، تحتاج حزمة التريليون فولت إلى مسرع طوله 30 كيلومتراً. لذا، إذا تمكنا من تسريع الجسيمات بمعدل يفوق كثيراً ما تسمح به حدود الانهيار الكهربائي، أمكننا جعل المسرع أصغر حجماً، وهنا يأتي دور البلازما.

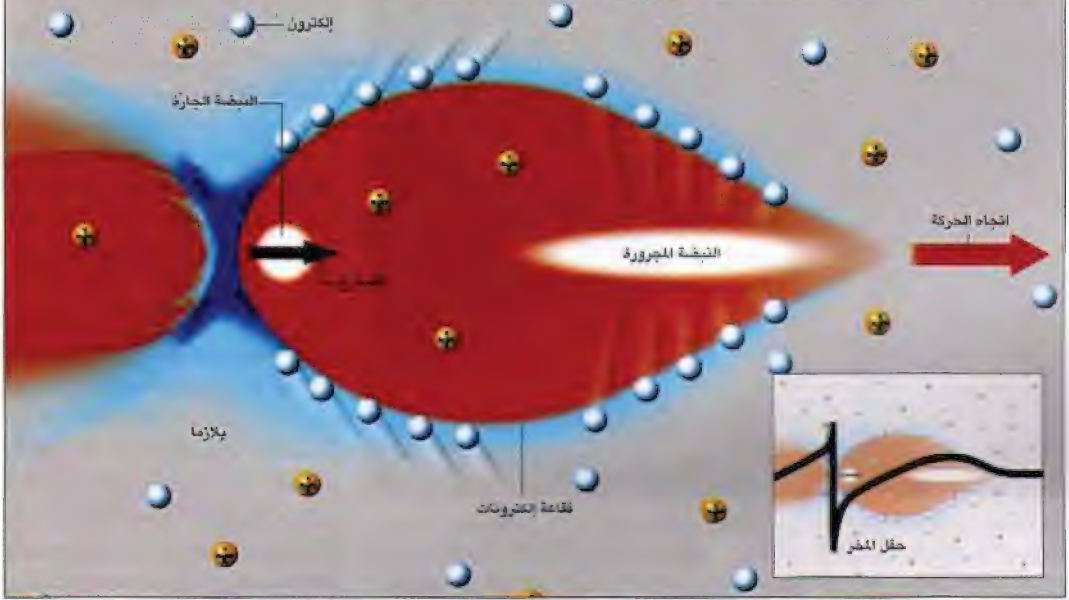
في المسرع البلازمي، تقوم البلازما، وهي غاز متأين، بدور بنية التسريع. ويصبح انهيار الكهربائي جزءاً من التصميم، بدلاً من أن يكون مشكلة؛ لأن البداية تكون بتأين الغاز. أما مصدر الطاقة هنا، فهو ليس موجات ميكروية، بل حزمة ليزيرية أو حزمة جسيمات مشحونة.

(١٢) Microwaves vs. Plasma

(١٣) synchrotron، أي المسرع المتزامن، وهو مسرع له شكل حلقة وتُحقن فيه جسيمات تأتي من مسرع خطي. يزداد في هذا المسرع تردد جهد التسريع وشدة الحقل المغنطيسي متزامنين معاً لإبقاء نصف قطر مدار الجسيمات ثابتاً أثناء التسريع. لذا تُعت بالمترزامن. أما الإشعاع السنكروتروني فهو الإشعاع الكهرمغنطيسي الذي تصدره الجسيمات المسرعة، والذي تزداد طاقته مع ازدياد سرعتها. (التحرير)

نظام الفقاعة^(١١)

يعتمد مسرّع حقل المخّر على اضطراب شحنات، يُعرف بحقل المخّر. لتوفير القوة الدافعة، إن النبضة الجارة، التي يمكن أن تكون نبضة قصيرة من ليزر أو من حزمة الإلكترونات، تدفع الإلكترونات (الأزرق) في غاز مثاليين، أي في بلازما، نحو الخارج لتُخلّف وراءها منطقة موجبة الشحنة (الأحمر). وتجذب الشحنة الموجبة الإلكترونات ذات الشحنة السالبة فتعيدها إلى خلف النبضة



ذلك العمل الغدّ دون لئس في عام 1993. ومنذ ذلك الحين كان التقدم في هذا المجال هائلا. وعلى وجه الخصوص، كانت ثمة نتائج مذهلة في تقنيتين تدعيان مسرّع حقل المخّر^(١٢) الليزري laser wakefield accelerator ومسرّع حقل المخّر البلازمي plasma wakefield accelerator. ويبدو أن حقل المخّر الليزري يُعد في الوصول إلى مسرّع صغير منخفض الطاقة، ويمتلك حقل المخّر البلازمي إمكان إنتاج مصادم مستقبلي يعمل عند حدود الطاقة التي وصلت إليها فيزياء الجسيمات.

نبضات من الضوء^(١٣)

أصبحت المسرّعات البلازمية الصغيرة ممكنة حاليا بفضل الليزرات الشديدة التراصّة. فليزرات التيتانيوم-سفير

موجة ذات حقل كهربائي تبلغ شدته عند الذروة 100 بليون فُلت في المتر. وهذه شدة تفوق بكثير من ألف مرة تدرّج التسريع في مسرّع عادي يعمل بالموجات الميكروية. أما الصعوبة هنا فهي أن طول الموجة البلازمية يساوي 30 ميكرونا فقط، في حين أن طول الموجة الميكروية يبلغ نحو 10 سنتيمترات عادة. ومن الصعب جدا وضع حزمة من الإلكترونات في موجة بلازمية بهذا الصغر.

كان الراحل (M. J. D. Dawson) أول من اقترح في عام 1979 هذه الطريقة العامة لاستخدام البلازما في تسريع الجسيمات. وقد استغرق الأمر أكثر من عقد من الزمن قبل أن يُستعرض تجريبيا ركوب الإلكترونات متنّ موجات البلازما واكتسابها طاقة منها. وقد وجب لتحقيق ذلك ترويض ثلاث تقانات مختلفة، هي البلازما والمسرّعات والليزرات، وجعلها تعمل معا. وقد أنجزت مجموعتي في جامعة كاليفورنيا بولس أنجلوس

تسير العملية بالطريقة التالية: البلازما بجملتها معتدلة كهربائيا، لأنها تحوي كميتين متساويتين من الشحنة السالبة (الإلكترونات) والشحنة الموجبة (الأيونات). لكن نبضة من حزمة شديدة من الليزر أو الجسيمات تولّد اضطرابا في البلازما، إذ تدفع الحزمة الإلكترونات الخفيفة بعيدا عن الأيونات الموجبة الثقيلة، التي تتخلف بدورها، وهذا ما يحدث منطقة ذات زيادة في الشحنات الموجبة، ومنطقة ذات زيادة في الشحنات السالبة [انظر الإلزام في هذه الصفحة]. ويشكّل الاضطراب موجة ترحل عبر البلازما بسرعة الضوء تقريبا. ويعمل الحقل الكهربائي الشديد المتجه من المنطقة الموجبة إلى المنطقة السالبة على تسريع أي جسيم مشحون يمكن أن يكون تحت تأثيره.

يمكن أن يوفر الوسط البلازمي حقول تسريع كهربائية ذات شدات مذهلة. إذ يمكن لبلازما تحوي 10^{18} إلكترون في السنتيمتر المكعب (وهذا عدد ليس استثنائيا) أن تولّد

مسرّع حقل المُخَرِّ الليزري^(١)

يتلّف المسرّع البلازمي الذي يوضع على الطاولة من حزمة ليزرية قوية جدا مسلّطة على نفثة فوق صوتية من غاز الهليوم [في اليسار]. وتولد نبضة من الحزمة الليزرية بلازما في نفثة الغاز، ويسرع حقل المُخَرِّ بعضا من الإلكترونات المزاحة. وتُجمّع نبضة الإلكترونات الناتجة، وتُمرَّر عبر حقل مغناطيسي يحرف الإلكترونات انحرافات مختلفة تبعاً لمواقعها. ويمكن وضع المسرّع كله على طاولة بصرية عرضها أربع أقدام ولولها ست أقدام.

تبيّن حزم الإلكترونات (المستطيلات في اليمين)، التي ولّدها أول مسرّع يوضع على الطاولة في مختبر البصريات التطبيقية بالمدرسة التقنية في فرنسا، كيف أمكن التخلّص على أحد العوائق الرئيسية. فمع أن بعض الإلكترونات قد سرّعت إلى 100 جيجا إلكترون فولت باستخدام التقنية العادية (هذه العبارة ليست في النص الأصلي، لكن المؤلف يفترض ضمناً استخدام التقنية العادية. لذا أدرجتها لإزالة الغموض. المراجع)، فقد توزعت طاقاتها فزوايا حتى 0 إلكترون فولت [a]. وتباعدت زاوية الحزمة أيضا بنحو درجة كاملة. خلافا لذلك، أظهرت النتائج، التي حصل عليها من نظام «الفقاعة» المكتشف حديثاً، حزمة إلكترونات طاقاتها جميعاً متساوية، وتبلغ نحو 180 جيجا إلكترون فولت. أما زاوية تباعد الحزمة، فهي أصغر بكثير [b]. إن لمثل هذه الحزمة فوائد تطبيقية كثيرة.



منها باستمرار. وتُوسَّع بعض إلكترونات البلازما نفسها أيضاً وتُسرع بهذه الطريقة، على غرار النقاط موجة البحر زبد الماء.

وفي عام 2002، بيّن «ص. سالكا» ومجموعته في مختبر المدرسة التقنية للبصريات التطبيقية Ecole Polytechnique's Laboratory of Applied Optics في فرنسا أنه أمكن توليد حزمة تحوي 10¹⁰ إلكترونات باستخدام حقل مُخَرِّ يسير ليزر. وكانت الحزمة متجمّعة تجمعا جيدا، أي مُبارة بدقة، لكن، من سوء الطالع، توزّعت طاقات الإلكترونات المسرّعة على مجال واسع امتد من واحد إلى 200 مليون إلكترون فولت، في حين أن معظم التطبيقات تتطلب حزمة إلكترونات جميعاً الطاقة نفسها.

إن سبب هذا الاتساع في مجال طاقة الإلكترونات هو أن موجة حقل المُخَرِّ النقطت الإلكترونات في مواضع مختلفة وفي أزمنة مختلفة، أما في المسرع العادي، فتُحقن الجسيمات التي يراد تسريعها في مكان واحد بالقرب من ذروة الحقل الكهربائي. وقد ظن الباحثون أن مثل هذا الحقن الدقيق مستحيل في مسرّع حقل المُخَرِّ الليزري، لأن بنية التسريع صغيرة جدا وقصيرة العمر.

Laser Wakefield Accelerator (١)

تشكّل الإلكترونات في الواقع بنية تشبه الفقاعة. وبالقرب من مقدمة الفقاعة هناك نبضة الليزر التي تولّد البلازما، وفي داخل الفقاعة هناك أيونات البلازما. وهذه البنية الفقاعية شديدة الضائلة، إذ يبلغ قطرها نحو 10 ميكرونات. ويشبه الحقل الكهربائي في الفقاعة موجة البحر، لكن تدرّجه من ذروة الموجة إلى قعرها أشد انحدارا بكثير. ومع أن بنية أخرى ممكنة أيضا، يبدو أن استخدام نظام الفقاعة هو أفضل طريقة لتسريع الإلكترونات.

إذا حقن جهاز، من قبيل المدفع الإلكتروني، إلكترونات خارجيا قريبا من مكان فيه حشد كبير من الإلكترونات في البلازما، خضع الجسم الجديد إلى حقل كهربائي يجذبه نحو الشحنات الموجبة داخل الفقاعة. إن الموجة تتحرك بسرعة الضوء، لذا يجب أن تكون سرعة حقن الإلكترونات قريبة من هذه السرعة كي يلحق الموجة ويكتسب طاقة منها. لكننا نعلم، من نظرية النسبية، أن أي زيادة في طاقة الإلكترون تنجلي في معظمها ازديادا في كتلة الجسم، لا في سرعته. لذا، فإن الإلكترون لا يُجاري موجة البلازما مجاراة ذات شأن، بل يركب متنها، ويكتسب طاقة

Titanium-Sapphire، التي تستطيع توليد استطاعة مقدارها 10 تيراواط (تريليون واط) في نبضات بالغة القصر، يمكن أن توضع الآن على سطح طاولة كبيرة [انظر: ضوء، بالغ الشدة، العدد 1 (2003)، ص 56].

في المسرّع البلازمي، الذي يغذى بالطاقة الليزرية، تُركّز نبضة ليزرية بالغة القصر داخل نفثة من الهليوم طولها نحو شيمترين، وتصل النبضة فوراً إلكترونات الغاز مولدةً البلازما. أما ضغط إشعاع طاقة الليزر، فهو كبير بقدر يجعل الإلكترونات التي هي أخف كثيرا من الأيونات، تُقذف في جميع الاتجاهات مختلفة وراها الأيونات الثقيلة. ولا تستطيع هذه الإلكترونات الابتعاد كثيرا، لأن الأيونات تجذبها إلى الداخل. وحين تصل إلى المحور، الذي تسير عليه نبضة الليزر، تتجاوزها، وينتهي بها الأمر إلى الابتعاد عنه نحو الخارج من جديد، مولدةً بذلك اهتزازا يشبه الموجة [انظر الإطار في الصفحة المقابلة]. يدعى هذا الاهتزاز حقل المُخَرِّ الليزري لأنه يقتني نبضة الليزر كافتاء المُخَرِّ لقارب ذي محرك على سطح الماء.

الحرق البلازمي اللاحق⁽¹⁾

جرى أخيراً عرض للتسريع بحقل المخّر البلازمي في تجربة استُخدمت فيها حزمة من مُصادم ستانفورد الخطي. فقد أضاف التسريع طاقةً مقدارها 4 جيجا إلكترون فُلت إلى حزمة إلكترونات في 10 سنتيمترات فقط، وهذا كسب في الطاقة كان سيتطلب مقطعاً طوله 200 متر في مسرّع عادي يعمل بالموجات الميكروية. في هذه التجربة، يخرّ فرن أقرصا من الليثيوم. وأُنيت نبضة إلكترونات شديدة [الأحمر] البخارُ فأنتجت البلازما. ودغمت النبضة إلكترونات البلازما [الأزرق] التي شكلت حينئذ حقلَ مخّر، أو اضطراباً في الشحنة، خلف النبضة. وخضعت الإلكترونات الواقعة في حقل المخّر ذاك إلى تسريع شديد [الأسهم البرتقالية].

في غياب الليثيوم [a]، تساوت طاقات جميع إلكترونات حزمة المُصادم SLAC، التي تساوي طاقتها 30 جيجا إلكترون فُلت [الطاقة منقطة بالمحور الشاقولي]. وبعد عبور الحزمة مسافة 10 سنتيمترات في بلازما الليثيوم [b]، خسر معظم جسيماتها طاقةً صُرفت في توليد حقل المخّر البلازمي [الذي الأحمَر]. وسرّع حقل المخّر هذا عدداً صغيراً من الإلكترونات التي وُجدت عند مؤخرة النبضة، رافعاً طاقاتها [المنطقة الزرقاء في الأعلى].



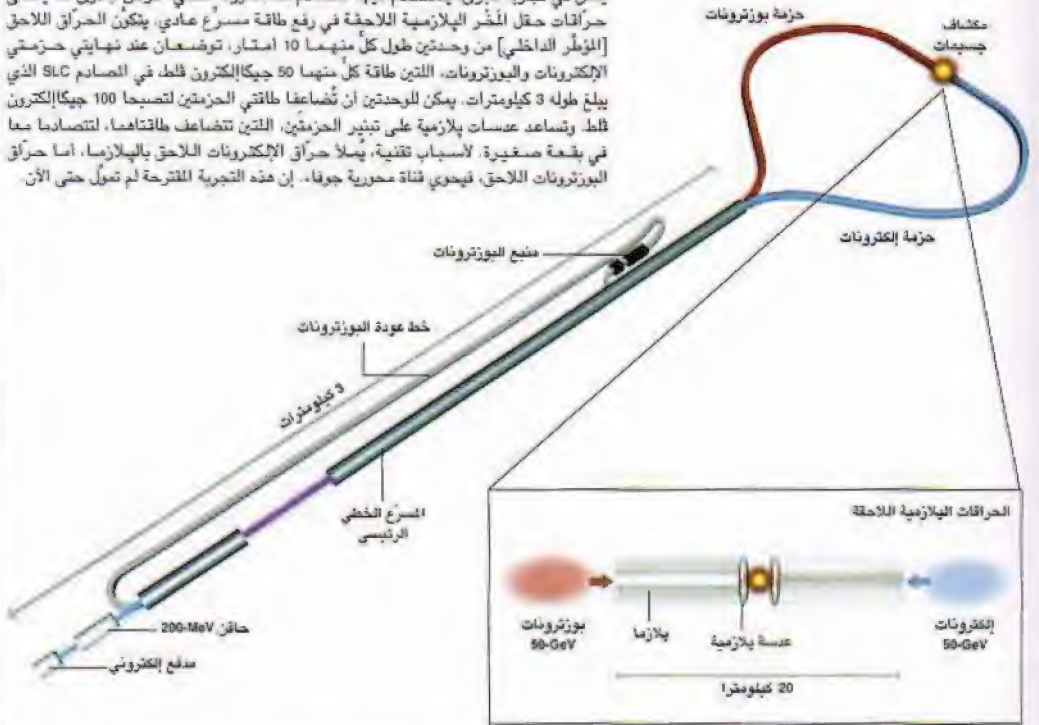
التي تولّدها مسرّعات توضع على الطاولة. كيف يمكن للسُرّ زيادة طاقة حزمة الإلكترونات لتحقيق مسرّع حقل مخّر ليزري ذي استطاعة تساوي بليون إلكترون فُلت؟ إن الأمر يحتاج إلى توليد موجة بلازمية تستمر مسافة تبلغ نحو سنتيمتر بدلاً من مليمتريين فقط. لذا يجب إبقاء الحزمة الليزرية المهيجة للموجة شديدة في البلازما مدة أطول، ويتحقّق ذلك بتسييرها ضمن ما يسمى الليف البلازمي plasma fiber. إن إحدى الطرائق الواعدة، على وجه الخصوص، هي استخدام ليف بلازمي مشكّل لهذا الغرض، وهذا ما يستقصيه باحثون في المختبر Lawrence Berkeley National Laboratory. في هذه الطريقة، تكون كثافة الإلكترونات على طول محور البلازما منخفضة، وهذا ما يجعل قريبة انكسار القناة البلازمية على طول المحور أعلى مما هي عند الأطراف، وهو

والنتيجة هي حزمة إلكترونات ذات مجال طاقة ضيق. ففي تجارب «مالكا»، على سبيل المثال، انخفض عرض مجال الطاقة إلى العُشر، مع وجود ما يصل إلى 10^9 إلكترونات في الحزمة. وكان عرض حزمة الإلكترونات الزاوي أضيق بكثير أيضاً مما كان في التجارب السابقة، مضاهياً عرض أفضل الحزم التي تنتجها المسرّعات الخطية العادية القائمة على الموجات الميكروية. وكان طول حزمة الإلكترونات الناتجة (وهي في الواقع نبضة) 10 فمتوثوان (10^{-14} ثانية) فقط، وهي أقصر نبضة أنتجها مسرّع حتى الآن، وهذا ما يغيّر باستخدامها لتكون مصدر إشعاع محتملاً لفصل العمليات الكيميائية والبيولوجية الفائقة السرعة. ويمكن أيضاً توجيه نبضة الإلكترونات نحو هدف معدني رقيق بغية إنتاج نبضة قصيرة من الأشعة السينية. وأتوقع (المؤلف) أن أرى في السنة أو السنتين المقبلتين تطبيقات للأشعة السينية

لكن مصادفة ميمونة أنقذت الموقف. فقد عثرت ثلاث مجموعات متنافسة، من الولايات المتحدة وفرنسا وبريطانيا، في الوقت نفسه من عام 2004 مصادفة على نظام فيزيائي جديد تحتشد فيه إلكترونات مأسورة ذاتياً في مجموعة واحدة، فتبلغ جميعاً مقدار الطاقة ذاته. لقد استُخدمت المجموعات الثلاث ليزرات ذات طاقة أعلى من ذي قبل، زادت على 10 تيراواط. وحين تنتشر مثل هذه النبضة الليزرية القوية عبر البلازما، تصبح أقصر وأضيق، فتخلق بذلك فقاعة إلكترونية كبيرة تأسر الإلكترونات من البلازما. وهذه الإلكترونات المأسورة ذاتياً كثيرة العدد إلى درجة أنها تُنزع مقدارا كبيرا من طاقة المخّر، مؤدية إلى توقف أسر المزيد منها. ويسبق الإلكترونات ذات الطاقة العليا المخّر، فتفقد بذلك شيئا من طاقتها، في حين أن الإلكترونات المتخلفة ذات الطاقة المنخفضة تستمر في اكتساب الطاقة.

تعزيز مسرع عادي^(١)

يمكن في تجربة كبرى، يُستخدم فيها مُصادم ستانفورد الخطي، عرض جديري ما يسمى حرارات حقل المُخَرّ البلازمية اللاحقة في رفع طاقة مسرع عادي، يتكوّن الحراق اللاحق [المُطَرّ الداخلي] من وحدتين طول كل منهما 10 أمتار، توضعان عند نهايتي حزميتي الإلكترونات والبوزترونات، اللتين طاقة كل منهما 50 جيكا إلكترون فلت في المصادم SLC الذي يبلغ طوله 3 كيلومترات. يمكن للوحدتين أن تُضاعفا طاقتي الحزميتين لتصبحا 100 جيكا إلكترون فلت. وتساعد عدسات بلازمية على تبخير الحزميتين، اللتين تتضاعف طاقتاهما، لتتصادما معا في بقعة صغيرة، لأسباب تقنية، يُضلا حراق الإلكترونات اللاحق بالبلازما، أما حراق البوزترونات اللاحق، فيحتوي قناة محورية جوفاء. إن هذه التجربة المقترحة لم تعمل حتى الآن.



فمتوثانية. وكما في مسرع حقل المُخَرّ الليزري، وحين تركيز النبضة الجارة ضمن البلازما، تتولد فقاعة حقل المُخَرّ (على أن تكون الحزمة أكثر من البلازما). إن السيرة هنا هي ذاتها كما في حالة حقل المُخَرّ الليزري، باستثناء كون الحقل الكهربائي لحزمة الجسيمات هو الذي يقوم الآن بالدفع بدلا من ضغط إشعاع الحزمة الليزرية. وتغلّف فقاعة الإلكترونات الحزمة المجرورة التي تتسارع بمعدل عال بوساطة المركبة الطولية للحقل الكهربائي الناتج.

لقد أحدث مسرع حقل المُخَرّ البلازمي قدرا كبيرا من الإثارة في أوساط الفيزيائيين العاملين في تقنيات التسريع المتقدمة، وجعلت ثلاثة إنجازات مهمة هذه الطريقة شديدة الإغراء. وقد حقق تلك الإنجازات فريق من الباحثين الذين يعملون في جامعة

طاقيا سابقا مقداره عدة جيكا إلكترون فلت يمثل هذا التصميم، الذي يُدعى ترتيبا على مراحل، الكيفية التي تُركّب بها مسرعات الموجات الميكروية بغية إنتاج طاقات عالية. لكن ترتيب المسرعات البلازمية على مراحل يعاني مشكلات شديدة التعقيد.

أما النهج البديل المفضل حاليا فهو ما يسمى الحراق البلازمي اللاحق plasma afterburner، وفيه يُضاعف مسرع حقل مُخَرّ بلازمي في مرحلة واحدة طاقة خرج مسرع عادي، في هذه الطريقة، يرفع المسرع العادي طاقة نبضتيّ الإلكترونات أو بوزترونات إلى عدة مئات من الجيجا إلكترون فلت. تحوي النبضة الأولى (وتدعى النبضة الجارة) من الجسيمات ثلاثة أضعاف ما تحويه النبضة الثانية المجرورة. ويبلغ طول كل من النبضتين، الجارة والمجرورة، عادة 100 فمتوثانية، ويفصل بينهما نحو 100

الشرط المناسب كي تسلك القناة سلوك ليف ضوئي تسير الحزمة الليزرية ضمنه. وقد بيّنت تجارب بركلي أن مثل هذه القنوات تولّد حزم إلكترونات طاقة جميع الإلكترونات فيها متساوية. ويُتوقع أن تُنتج تحسينات أخرى لهذه الطريقة أول مسرع بلازمي صغير من صنف الجيجا إلكترون فلت في المستقبل القريب جدا.

الارتقاء إلى حدود الطاقة العليا^(٢)

كيف يمكن توسيع هذه المسرعات البلازمية العاملة بالليزر والسنتيمترية الأبعاد لتولّد طاقات في مجال التيرا إلكترون فلت (10¹² eV) المهم لفيزيائيي الجسيمات؟ إن إحدى طرائق تحقيق ذلك هي وضع مئات من وحدات التسريع البلازمية المترابطة في سلسلة واحدة معا بحيث توفر كل منها ريجا

الذكاء الوجداني^(١)

إن الذكاء ليس مجرد «نسبة ذكاء» IQ المرء، إذ إنه يقوم أيضا على ملكة إدراك الحالات الوجدانية لديه ولدى الآخرين وتفسيرها، وعلى معرفة كيفية التعبير عن هذه الحالات الوجدانية وإدارتها.

(D، كروبال) - (P، سالوفي)

تدبير أدوات لقياسه.

تجدد الاهتمام بموضوع الانفعالات^(٢)

يشكل مفهوم الذكاء الوجداني، في تاريخ علم النفس، مرحلة مهمة في فهم العلاقات بين العقل والهوى passion. وقد رأى الرواقين اليونان والرومان^(٣) أن الانفعالات هي من الشدة والبعد عن إمكانية التنبؤ بها إلى حد تصبح معه غير مفيدة للتفكير العقلاني. وكانت الانفعالات في تصورهم مرتبطة بالنساء، ومن ثم فهي تميز الجوانب الضعيفة والدينا من الإنسان. والقالب النمطي الذي يرى أن النساء قابلات للانفعال أكثر من الرجال لا يزال مستمرا إلى اليوم. ومع أن تيارات متنوعة من الفكر، وبخاصة تيار الرومانتيكية^(٤)، قد أعلت من قيمة الانفعالات، فإن الرؤية الرواقية للطابع اللاعقلي للانفعالات قد استمرت مؤثرة حتى القرن العشرين. ومع ذلك، فإن تطور علم النفس إبان القرن الماضي قد قلب رأسا على عقب مفاهيم عديدة. فقد قدمت للذكاء تعريفات أوسع مما سبق. كما نُجمت اتفاقيات جديدة بشأن العلاقات بين العواطف والفكر. ومنذ الأعوام 1930، اقترح عالم القياس النفسي (R. ثوردايك) أن الأفراد لهم ذكاء

منذ نحو عشر سنوات، يشهد مفهوم «الذكاء الوجداني» نجاحا متزايدا، فقد كُرس له العديد من المصنفات. وتفجّر اهتمام أجهزة الإعلام بموضوع الذكاء الوجداني في عام 1995 مع نيل كتاب الصحفي العلمي (D. كولمان) «الذكاء الوجداني» Emotional Intelligence جائزة أكثر الكتب رواجاً. وقد كانت تلك الفترة بمثابة التربة الخصبة المثالية لتفتح مفهوم الذكاء الوجداني، حيث وضعت حينذاك موضع الشك الفكرة القائلة إن «نسبة الذكاء» quotient intellectuel (IQ)^(٥)، الذي يقيس الذكاء التحليلي، هي العامل الرئيسي في النجاح الاجتماعي والمهني، وحتى العاطفي sentimental. وهنا ظهر «الذكاء الوجداني» لكي يكون ملاذا في مواجهة قصرية «نسبة الذكاء» التي تُعزى لكل فرد من الأفراد مرة واحدة وإلى الأبد.

ولم يكن الذكاء الوجداني مجرد بدعة عابرة، إذ إنه أثار اهتمام الجميع، وما لم يكن إلا ميدانا غامضا من ميادين البحث في علم النفس، ازدهر خلال سنوات قليلة. وأصبح الشعاع المرفوع هو: «تدرب على [تحسين] نسبته الذكاء الوجدانية» (QE) quotient émotionnel. ومع ذلك، فقد قوبل مفهوم الذكاء الوجداني بانتقادات بالغة من قبل المشتغلين بالبحث العلمي، حيث وجد عدد كبير منهم أن الذكاء الوجداني إنما يمثل كل سمة لا يستطيع اختبار نسبة الذكاء قياسها، ومنها على سبيل الأمثلة: الدافعية والثقة والتفاؤل أو «الخلق الطيب».

وعلى الرغم من هذا الاختلاط في الآراء، ظهر أن الذكاء الوجداني ميدان واعد من ميادين البحث، بل ظهر أكثر من هذا: إنه يمكن قياسه باعتباره مجموعة من الاستعدادات الذهنية. كما ساعدتنا الأبحاث المختلفة على فهم الدور الذي تؤديه المشاعر الوجدانية في حياتنا.

فماذا نعرف عن الذكاء الوجداني؟ لقد قادت أبحاث علماء النفس إلى أن يُعطى للذكاء الوجداني معنى أكثر تحديدا من معناه الرايح. ونحن نقضل أن نعرفه بأنه مجموعة نوعية من القدرات capacités ذات الصلة بتعرف المشاعر الوجدانية وإدارتها. وسوف نقدم هنا عرضا للتجارب التي أدت إلى إعداد نموذج للذكاء الوجداني وإلى

(١) هذه ترجمة للكتاب بعنوان: L'intelligence émotionnelle.

وقد أثرت ترجمة العنوان «بالذكاء الوجداني» وليس «الانفعالي» تحديدا، لأن السياق في هذه المقالة يتعدى «الانفعال» بالمعنى الدقيق له (وهو استجابة شعورية تتميز بالاضطراب الحاد وتصلحها تغيرات فيزيولوجية، تستمر عادة لفترة محدودة من الوقت، كما في حال الغضب أو الفرح، إذ إن المقالة تتحدث مثلا عن السعادة وعن الملل وهما ليسا انفعالات بالمعنى الدقيق، كما تستخدم تعبيرات «العواطف» والحالات النفسية» والأحاسيس، وغيرها. وقد ترجمت بعض الكتابات العربية المصطلح أحيانا بـ «الذكاء العاطفي» ولكن هذا بدوره لا يشمل على الانفعالات جميعها. أما الصفة «وجداني» فإنها تشمل تلك المشاعر جميعها. وقد نشرت هذه المقالة في عدد الشهر 2005/11 من مجلة Pour la Science الفرنسية، وهي إحدى أخوات «العلوم» الثماني عشرة التي تترجم مجلة

Scientific American

Le nouveau des émotions (١١)

(١٢) IQ المقابل الفرنسي لـ IQ وهذه اختصار لـ Intelligence quotient نسبة الذكاء. (١٣) مدرسة فلسفية تقويم الأخلاق على العقل، وتقول بأن الخير الوحيد هو الفضيلة. وتدعو إلى قمع كل الأهواء.

(١٤) مدرسة فنية أوروبية اهتمت بجانب الأحاسيس والعواطف لدى الإنسان مقابل الفكر.

(التحرير)



الشكل ١: إن الذكاء الوجداني هو وجه من أوجه للمقررات المعرفية، وهو يضم كفايات متصلة بالانفعالات، ومنها: تعرف الانفعالات (في هذا الشكل: الرعب)، وتحليلها، واستخدامها بطريقة إيجابية والنجاح في إدارتها.

[من جامعة أيوا] يثبتون أن الانفعال والعقل لا ينفصلان، وأنه في غياب الانفعالات قد لا تصير القرارات التي يتخذها الأفراد صائبة.

ففي إحدى التجارب التي أجراها «داماسيو»، كان يُطلب إلى الأشخاص المختبرين أن يرفعوا مكاسبهم إلى حددا الأقصى في لعبة تقوم على سحب مئة بطاقة على التعاقب من علَب مختلفة. وقد خلطت البطاقات على نحو خاص، بحيث إن علبتين كانتا تحتويان على بطاقات تأتي بمكاسب عالية وعلى أخرى أيضا تتسبب في خسارات شديدة، وبحيث إن متوسط الخسارة في كل عشر بطاقات كان 250 يورو. أما العلب الأخرى، ذات المخاطرة الأقل، فإنها كانت تحتوي على بطاقات ذات مكاسب ضئيلة وخسارات قليلة، بحيث إن متوسط المكسب في كل عشر بطاقات يسحبها الشخص كان 250 يورو.

وقد كان بعض الأشخاص المختبرين مرضى بإصابات في المنطقة قبل الأمامية للبططين الأوسط من القشرة المخية (lésions du cortex cérébral ventromedian préfrontal). والمرضى بهذا النوع من الإصابات يمارسون وظائفهم على نحو عادي، إلا أنهم غير قادرين على استخدام مشاعرهم الوجدانية عند اتخاذ القرارات. وأما الأشخاص المختبرون الآخرون فلم تكن بهم هذه الإصابات، ولم يكن بمقدور اللاعبين التنبؤ يقينا بأي العَلَب هي الحاملة لمخاطرة أعظم.

(L'émotion, aide à la décision) (١)

اجتماعي، أي مقدرة على إدراك أحوالهم الباطنية ودوافعهم وسلوكهم لهم وللآخرين، وعلى التصرف بناء على هذا كله، ولكن هذا العالم أقر فيما بعد أنه لا توجد إلا أدلة علمية قليلة على وجود ذكاء اجتماعي.

أشكال عديدة متمايزة للذكاء، تم اقتراحها، ومنها «ذكاء العلاقات بين الأشخاص» intelligence interpersonnelle، وهو عظيم الشبه بمفهوم الذكاء الوجداني، ويمكن أن يسمح بالنظر إلى الانفعالات في مجموعها وبالتمييز بين العواطف، ويوضع تسميات لها، وبإدراجها في قوائم رمزية، من أجل فهم سلوك المرء وقيادته.

فهل يكون الذكاء الوجداني، إذاً، مجرد اسم جديد للذكاء الاجتماعي أو لأشكال أخرى من الذكاء، سبق تعريفها؟ إننا نفضل، بدلا من اعتبار الذكاء الوجداني شكلا للذكاء الاجتماعي، تضيق تعريف الذكاء الوجداني واعتبار أن معالجة الانفعالات والمعارف المرتبطة بالانفعالات تشكل نمطا خاصا من الذكاء. وبهذا يتركز تصور الذكاء الوجداني على موضوع الانفعالات (émotions)، التي تؤدي دورا ليس فقط في العلاقات الاجتماعية، وإنما كذلك في الحياة الشخصية.

الانفعال، عوناً على اتخاذ القرار^(٢)

في الأعوام التي تلت عام 1990، كشفت الأبحاث عن وجود صلات بين التفكير العقلي والانفعالات. فالأفراد عندما يتخذون قراراتهم يعتمدون عموما على الحنج المنطقية وهم يواجهون الاختيارات التي تعرض عليهم. ولكن ها هو «أ. داماسيو» وزملاؤه

أسئلة الاختبار MSCEIT⁽¹⁾

ما الحالة الوجدانية التي يتكون من الميود الشعور بها عندما تلتقي بعائلة زوجتك للمرة الأولى؟				
غير ناعمة	ناعمة			
1	2	3	4	5
a. التوتر				
b. الانزعاج				
c. الفرح				

لأن يشعر بالقلق ويشيء من الإجهاد النفسي حين يفكر في الإشلال التي يبقى عليه أن ينجزها، وحين يكلفه رئيسه بمشروع إضافي، فإنه يحس بأنه:

a. مرهق b. محبط c. بغضاء الطري d. مرتبك e. عصبي جدا

بأي درجة من الحدة تثير هذه الصورة العاطفتين التاليتين؟				
1	2	3	4	5
a. الفرح				
b. الحزن				



إن الشعور بالاحتظار يعزج مزاجا ولبلا جدا بين:

- a. الانمناش والقلق
- b. القلق والخوف
- c. الغم والخوف
- d. النقرز والقلق
- e. الكره والشعور بالذنب

ولكن، إذا كان إدراك الانفعالات أمرا مشتركا بين جميع البشر، إلا أنه يتفاوت ما بين فرد وآخر. وقد أثبت «s. بولاك» [من جامعة ويسكونسن - ماديسون] أن سوء المعاملة يمكن أن يخلُ بقدرة الأطفال على إدراك تعبيرات الوجوه. فعلى شاشة حاسوب، عرض «بولاك» على أطفال تتراوح أعمارهم ما بين الثامنة والعاشر، وكان منهم من أسبنت معاملته وآخرون لم تسأ معاملتهم، صورا لوجوه سعيدة وأخرى خائفة أو حزينة أو غاضبة، منتقلا على التدرج من انفعال إلى آخر. أما الأطفال الذين أسبنت معاملتهم فإنهم على الأغلب وجدوا أكثر من غيرهم أن وجهها ما يعبر عن الغضب، حتى عندما لا يكون التعبير ظاهرا، من جهة أخرى، قام «بولاك»، مستخدما الأقطاب الكهربائية Electrodes، بقياس النشاط المخي عند الأطفال فيما كانوا يحددون هوية الانفعالات، فظهر أن نشاط الأطفال الذين أسبنت معاملتهم كان، أثناء مشاهدتهم وجهها يعبر عن الغضب، أعلى من نشاط الآخرين. هذه الدراسة تظهر أن الخبرات العيشية يمكن أن تؤثر في تعرف تعبيرات الوجوه (انظر الشكل 4).

والجانب الثاني للذكاء الوجداني، جانب استخدام الانفعالات، يمثل القدرة على الانتفاع بالمعلومات الانفعالية من أجل تسهيل القيام بأنشطة معرفية أخرى. وهناك أمثلة هائلة من شأنها أن تساهل لها أن تساعد شكلا أو آخر من أشكال المهام السلوكية. وفي هذا الإطار، فإن «a. أيزن» [من جامعة كورنل] قد أظهرت أن كون الفرد ذا مزاج ميتهج يجعله أكثر قدرة على الإبداع. فقد استتارت، عند مجموعة من الطلبة، مزاجا إيجابيا حيناً، وذلك بأن

وكان يجب عليهم أن يركتوا إلى مشاعرهم لاختيار العلب التي تمكنهم من تجنب خسارة مالية.

ولم يكن المرضى بالإصابة المخية قادرين على وضع تلك الإحساسات في حساباتهم، فكانت خسائرهم أعلى من خسائر المشاركين في التجربة من غير المصابين بتلك الإصابة. وهكذا يظهر أن الإصابات المخية المانعة لظهور الانفعالات والعواطف يمكن لها أن تحدث اضطرابا في عملية اتخاذ القرار. وقد استنتج «داماسيو» من هذا أن الأفراد لا يقومون بسلوكهم بالاعتماد على تقدير الآثار الموضوعية لأفعالهم فحسب، وإنما كذلك، وقبل كل شيء، بالركون الواقف إلى انفعالاتهم. إن الانفعالات والتفكير أمران مترابطان معا على نحو وثيق، والفصل بينهما يمكن أن تنتج منه نتائج مفاجئة.

وقد قام أحدنا (سالوقي) مع «d. ماير» بتقديم مصطلح «الذكاء الوجداني» رسميا في عام 1995، معرفين له بأنه يدل على القدرة على مراقبة المرء لعواطفه هو نفسه وعواطف الآخرين، وعلى التمييز فيما بينها، وعلى استخدام هذه المعرفة من أجل توجيه تفكير المرء، وأفعاله. وقد تطور هذا التصور من بعد ذلك، مع التأكيد على جانب العلاقات بين الانفعال والفكر، وكان علماء النفس، منذ نحو نهاية الأعوام 1970، قد قاموا بتجارب على مسائل إشكالية تقع على الحدود بين العاطفة والفكر، ومنها: آثار الاكتئاب في الذاكرة، وإدراك الانفعالات من خلال تعبيرات الوجوه، وكذلك أهمية ضبط الانفعالات والتعبير عنها.

لقد أنبثق الذكاء الوجداني من هذه الأبحاث: إنه شكل للذكاء القابل للتحديد الكمي، والذي يعبر عن المقدرة capacity على التجريد وعلى الاكتساب بالتمرن وعلى التكيف مع البيئة. ومن أجل تنظيم بنية محاور البحث في العمليات المرتبطة بالانفعالات، قدمنا مع باحثين آخرين في علم النفس، نموذجا للذكاء الوجداني يضم أربعة ميادين من المهارات المترابط بعضها ببعض: المقدرة على إدراك الانفعالات، المقدرة على استخدام الانفعالات من أجل تيسير التفكير العقلي، المقدرة على فهم لغة الانفعالات، وأخيرا المقدرة على إدارة الانفعالات، ما كان منها انفعالات للشخص نفسه أو انفعالات للآخرين. إن هذه المقدرات تتفاوت ما بين فرد وآخر، وهي ذات آثار اجتماعية مهمة.

ويقوم إدراك الانفعالات على تحديد هوية الانفعالات المعبر عنها على الوجوه مثلا أو بالأصوات أو في الصور الفوتوغرافية أو في الموسيقى. وهكذا، فحينما يكون صديق لنا غاضبا، فإنه يكفي أن ننظر إلى وجهه لنخمن طبيعة حالته الذهنية. وهذا الإدراك سيكون واحدا من الأعمدة التي يقوم عليها الذكاء الوجداني، حيث إنه لا غنى عنه عند معالجة المعلومات الانفعالية، وهو فضلا عن ذلك أمر مشترك بين سائر الثقافات البشرية: فقد عرض «a. إكمان» [من جامعة كاليفورنيا في سان فرانسيسكو] على سكان من غينيا الجديدة صورا فوتوغرافية لأمريكيين تعبر عن انفعالات مختلفة، فأنظر هؤلاء أنهم قادرون على أن يتعرفوا بدقة الانفعالات المعبر عنها في تلك الصور، هذا مع أنه لم يسبق لهم مطلقا أن قابلوا أمريكيين، وأنهم قد نشؤوا في ثقافة مختلفة تماما.



الاستعداد لفهم وتحليل الانفعالات المرء نفسه وانفعالات الآخرين (4)، وأخيراً المقدرة على إدارة الانفعالات (مثلاً ألا يحتاج المرء قبالة ما يضيقه) (5). إن للاختلافات في هذه المقدرات نتائج على جميع مظاهر الحياة الشخصية والمهنية والاجتماعية.

الشكل 3: الذكاء الوجداني مجموعة من المقدرات التي تتوزع على أربعة جوانب: الاستعداد لإدراك الانفعالات، مثلاً من الآخر (4)، المقدرة على استخدام الانفعالات المرء من أجل القيام بعمليات التفكير (مثلاً، كون المرء مرخاً يسهل حل المشكلات) (5).

على مقياس يتدرج من صفر إلى 4، وكانت أربع منها من الحالات الوجدانية الإيجابية (السعادة، الفرح، التحمس، الاستمتاع)، وخمس تعود إلى حالات وجدانية سلبية (العصبية، الغضب، الحزن، الشعور بالخزي، الشعور بالذنب).

وفي نهاية الدراسة، سُئل الطلبة المشاركون في التجربة عن الطريقة التي تعاملوا بها مع حالاتهم الوجدانية خلال الأسبوعين السابقين، وإن كانوا، مثلاً، قد تحدثوا عنها مع أشخاص آخرين. وقد ظهر أن الإدراك الجيد للحالات الوجدانية الإيجابية لم يكن ذا تأثير في استراتيجيات تنظيم الحالات الوجدانية، وفي المقابل فإن أفراد المجموعة القادرين على التحديد الدقيق لحالاتهم الوجدانية السلبية قاموا بتجربة استراتيجيات متنوعة من أجل إدارة هذه الحالات الوجدانية. وهكذا، فإن معرفة كيف يميز المرء بين حالاته الوجدانية وكيف يحدد هوية كل منها هو ما يساعد على إدارتها بفعالية أعظم.

والجانب الرابع للذكاء الوجداني هو المقدرة على إدارة انفعالات المرء نفسه وانفعالات الآخرين أيضاً، وربما كان هذا الجانب هو الجانب الأسهل تحديداً من جوانب الذكاء الوجداني، ولكنه يتعدى بكثير مجرد المقدرة على السيطرة على المزاج السيئ؛ ذلك أنه يظهر من الضروري أحياناً أن يستثمر المرء انفعالات سلبية: فالمحامي، مثلاً، الذي يحاول إقناع من يتوجه إليهم بالكلام بوقوع ظلم من نوع ما، يستطيع أن يتظاهر بشعوره شخصياً بالإهانة والنقمة بهدف إقناع هيئة المحلفين.

إن الطريقة التي ندير بها انفعالاتنا يمكن أن تكون لها نتائج مهمة، وهو ما دلت عليه أبحاث «د. كروس» [من جامعة ستانفورد] في التسعينات. فقد قام «كروس» بعرض أفلام فيديو حول عمليات جراحية يصعب تحمل مشاهدتها، كعمليات بتر عضو ما، على ثلاث مجموعات من الطلبة. وكان على أفراد المجموعة الأولى أن يكتموا انفعالاتهم بقدر المستطاع، وذلك

كانت تعرض عليهم أفلاماً كوميدية، ومزاجاً محايداً حينما يعرض فيلم عن علم الرياضيات. ويعد أن يشاهد كل طالب أحد هذه الأفلام، فإنه كان يجلس أمام لوحة من الفلين، ويُعطى علبه من الكبريت وعلبة من الدبابيس وشمعة، ويطلب إليه أن يتوصل، خلال عشر دقائق، إلى طريقة لتثبيت الشمعة على اللوحة، بحيث تحترق الشمعة من دون أن يسيل شمعها على الطاولة. أما الطلبة الذين كانوا قد شاهدوا الأفلام الكوميدية، فإن عدد الذين توصلوا منهم إلى الحل كان أكبر من عدد الآخرين، وكان يكفي إفراغ علب الكبريت من أعوادها، وتثبيتها على اللوحة بوساطة الدبابيس واستعمالها على هذا النحو كدعامة للشمعة. وهكذا، فإن الذكاء الوجداني يسهل القيام ببعض المهام.

فهم المرء لانفعالاته وإدارته لها⁽⁶⁾

أما الجانبان الثالث والرابع من الذكاء الوجداني فلهما طابع استراتيجي أكبر من السابقين. فالجانب الثالث، فهم الانفعالات - هو المقدرة على كيفية استخلاص معلومات من العلاقات فيما بين الانفعالات ومن التحولات من انفعال إلى آخر، وأيضاً القدرة على الوصف الدقيق لانفعالات المرء نفسه. إن الشخص الذي يجيد فهم الانفعالات يستطيع أن يميز ما بين انفعالات مترابطة، مثل الفرح والافتخار، أو يدرك أن المرء إن لم يكن منتبهاً لأحواله فسيتركه عنده استعاض يسير يمكن أن يتحول إلى غضب كتيب.

لقد بينت الباحثة في علم النفس د. «بارت» [من بوسطن] أن مقدرة المرء على إدراك حالاته الوجدانية الخاصة تؤثر في الشعور بالهناء. فقد طلبت، مع زملائها، إلى مجموعة من 53 طالباً أن يسجلوا يوميات حالاتهم الوجدانية خلال أسبوعين. وكان على هؤلاء الطلبة أن يقدروا بوجه خاص خبرتهم الوجدانية اليومية الأشد قوة، ونك بأن يضعوا درجات بحسب القوة لتسع من الحالات الوجدانية

اتفاقهم أو اختلافهم مع تقديرات تصور جوانب متنوعة من الذكاء الانفعالي، وعلى سبيل المثال، فإن اختبار التقدير الذاتي للذكاء الوجداني (أو SREIT) يعرض تقديرات من هذا النوع: «إني أتحكم في انفعالاتي» أو «هناك أشخاص يجدون أنه من السهل عليهم أن يفضوا إليّ بمكنوناتهم».

مفهوم يصعب قياسه

من أجل التقدير عن طريق شخص محايد، فإنه يطلب إلى أشخاص يتعاملون غالباً بعضهم مع بعض (أصدقاء أو زملاء في العمل) أن يضع بعضهم لبعض تقديرات لدرجة ذكائهم الوجداني، وذلك بحسب موضوعات مشابهة لموضوعات تقارير التقدير الذاتي، ولسوء الحظ، فإن هذه الاختبارات غالباً ما تتناول صفات تتعدى الإطار الدقيق للذكاء الوجداني، والتي عادةً ما يتم تقديرها بواسطة اختبارات الشخصية من جهة أخرى، فإن التقدير الذاتي قد تأتي عليه بعض الانحرافات. فعلى سؤال: «هل تعتبرون أنكم أنكماء وجدائياً؟» يريد معظم الناس أن يجيبوا بالطبع بالإيجاب، وإضافة إلى ذلك، فإن الأفراد لا تكون عندهم بالضرورة فكرة واضحة عن ميزاتهم وعن جوانب ضعفهم. أما بخصوص التقديرات عن طريق طرف محايد، فإنها هي الأخرى تخضع لتأثير الأحكام المعوجة وللتفسيرات الذاتية. ومن أجل معالجة هذه الصعوبات جزئياً، فإن الباحثين يقومون بتقدير الذكاء الوجداني بواسطة سلم متعدد العوامل للذكاء الوجداني، وقد قدمت صياغة محسنة لهذا الاختبار عام 2002، وهي اختبار

Un concept difficile à mesurer (*)

بالحد من تعبيراتهم الوجهية. أما طلبية المجموعة الثانية فقد طلب إليهم أن يشاهدوا الفيلم بعينون حيادية ولا يندمجوا مع ما يشاهدونه. أما طلبية المجموعة الأخيرة فلم يطلب إليهم شيء (وهذه كانت المجموعة الضابطة). وقد تم تصوير الطلبية، كما سجلت ردود أفعالهم الفزيولوجية، من مثل درجة نبض القلب والمواصلة conductance الجلدية (ترتفع درجة المواصلة مع الانفعالات، حيث إن الجلد يفرز عند ذلك عرقاً أكثر). وفي الوقت نفسه كان على المشاركين في التجربة أن يضعوا تقديرات لعواطفهم الخاصة، وذلك قبل رؤية الفيلم وأثناءها وبعدها.

لقد كان للفيلم آثار عظيمة الاختلاف في طلبية المجموعتين الأولى والثانية (انظر الشكل 5). فقد نجح طلبية المجموعة الأولى في الحد من المظاهر الخارجية الانفعالية، إلا أن ردود أفعالهم الفزيولوجية كانت أكثر قوة بكثير من ردود أفعال أفراد المجموعة الضابطة، وقد أعربوا عن شعورهم بالاشمئزاز العميق، شأنهم شأن أفراد المجموعة الضابطة. أما أعضاء المجموعة الثانية، الذين طلب إليهم أن يبقوا حياديين، فإنهم أعربوا عن اشمئزاز أقل وكانت ردود أفعالهم الفزيولوجية مطابقة لتلك التي عند أفراد المجموعة الضابطة. إن هذه التجربة تظهر أنه يمكن أن تكون هناك كلفة فزيولوجية كبيرة، حتى عندما لا يلاحظها أحد، لكم الانفعالات السلبية. ومع ذلك، فإنه من المفيد أن يراقب المرء انفعالاته وأن يقيّمها.

هل خصائص الذكاء الوجداني هي خصائص كيفية وحسية؟ وهل تقي اختبارات الذكاء الوجداني عند حد الكشف عن سمات الشخصية؟ إن الإجابة هي لا، والمناهج المقترحة تتوزع على ثلاث مجموعات: التقدير الذاتي، والتقدير الذي يقوم به طرف محايد، واختبارات الاستعدادات.

أما التقدير الذاتي فإنه لا يزال واسع الاستخدام كثيراً، حيث إنه يسهل القيام به، وهنا يقوم الأفراد المختبرون بالتعبير عن

الشكل 4: إدراك الانفعالات هو مقدرة أساسية تشترك فيها جميع المجموعات البشرية. ولكن هذه القدرة تتفاوت بين شخص وآخر. فالأطفال الذين لقوا سوء المعاملة، والذين تُعرض عليهم وجوه مشككة حاسوبياً (إلى الأسفل)، يظهرون أكثر من غيرهم من الأطفال ميلاً إلى قراءة الغضب على هذه الوجوه، حتى حينما لا يكون التعبير ظاهراً. وقد سجلت الأقطاب الكهربائية التي وضعت على فروة الرأس (في اليسار) نشاطاً متخفاً أكثر قوة حينما كان هؤلاء الأطفال يرون وجوهاً يعبر عن الغضب.



أخرى. وقد أثبتنا أن نتائج اختبارات التقدير الذاتي للذكاء الوجداني، من قبيل الاختبار SREIT، تقدم نتائج متشابهة مع اختبارات الشخصية التقليدية، وهو ما يشير إلى أن اختبارات التقدير الذاتي للذكاء الوجداني تضيق عددا ضئيلا من المعلومات مقارنة باستبيانات الشخصية الترموزية. وفي المقابل فإن الاختبار MSCEIT لا يقدم المعلومات نفسها التي تقدمها اختبارات الشخصية.

وإحدى صعوبات اختبار ماير-سالوفي-كاروزو هي مسألة تعريف الإجابة الصحيحة فعلى خلاف اختبارات الذكاء التقليدية، فإن أسئلة اختبارات الذكاء الوجداني ليس لها بوضوح إجابة ما سليمة أو خاطئة. وعلى سبيل المثال، هناك استجابات متعددة يمكن أن تكون ذات فاعلية في إدارة المواقف الانفعالية، فكيف نقرر أيها هو «الأكثر ذكاء»؟

وفي إطار نموذج الذكاء الوجداني فإن الكفاءات الوجدانية لا يمكن عزلها عن السياق الاجتماعي. فلكي يستخدم المرء انفعالاته استخداما نافعا، فإن عليه أن يكون متوافقا مع المعايير الاجتماعية والثقافية التي لبينته. ومن ثم، وفي داخل مجموعة اجتماعية معينة، فإن الإجابات الصحيحة لشخص ما إنما تتوقف على إجابات الآخرين. ويضاف إلى هذا أن الإجابات المناسبة يمكن أن تُستخرج جزئيا من الخبرات المتنوعة التي تستدعي الانفعالات. وهكذا، فإن جرد الإجابات في اختبار ماير-سالوفي-كاروزو يتم باستخدام منهجين: التوافق الجماعي وتقدير الخبراء. وفي الحالة الأولى، يتم مقارنة إجابات الفرد

المعين بإجابات عينة مرجعية مكونة من خمسة آلاف شخص. وهذه العينة، التي تجمع أفرادا من سبعة بلدان مختلفة، تكون متنافرة العناصر من حيث مستوى التعليم أو مستوى الانتماء العرقي. وبحسب هذا المدخل، يعكس تطابق قوي بإجابات العينة المرجعية ذكاء وجدانيا عاليا. أما في حالة الاعتماد على تقديرات الخبراء، فإن إجابات فرد ما تقارن مع إجابات مجموعة من واحد وعشرين مختصا من أعضاء الجمعية الدولية للأبحاث حول الحالات الوجدانية Société Internationale pour la recherche sur les émotions.

ولكن هل تتسق هاتان الملاحظتان إحداهما مع الأخرى؟ إن التلازم المتبادل بين مجموع الدرجات التي يحصل عليها باستخدام منهج التوافق الجماعي وتلك التي يحصل عليها باستخدام منهج تقدير المختصين هو تلازم ممتاز، وهو ما يظهر أن المختصين وغير المختصين يحكمون بالطريقة نفسها على الإجابات الأكثر ذكاءً من الناحية الوجدانية. واختصارا، ونظرا للتداخل الحدود بين الاختبار MSCEIT من جهة وبين اختبارات الشخصية واختبارات الذكاء التحليلي من جهة أخرى، فإنه يبدو أن هذا الاختبار يقيّم على نحو يعكس عليه ما ليس هو الشخصية ولا هو نسبة الذكاء (IQ)، إنه الذكاء الوجداني.

وما أسرع أن وجدت أداة قياس الذكاء الوجداني هذه تطبيقات



الشكل 5: من أجل تقدير كيف يقوم الأشخاص بإدارة انفعالاتهم عُرض على عدد من الطلبة فيلم عن عملية جراحية تبعث على التنفّز. وكان على أفراد مجموعة أولى منهم أن يبقوا حياديّين [الأزرق]، وعلى أفراد مجموعة أخرى أن يدخلوا انفعالاتهم [البني]. وأما أفراد المجموعة الضابطة فإنهم لم يظفروا أي تعليمات معينة [البنفسجي]. أفراد المجموعة الضابطة أظهروا التنفّز [توق إلى اليسار]، وكانت لهم ردود أفعال فزيولوجية ملحوظة [البض المقيس عند الإصبع، درجة حرارة الجلد، والمواصلة الجلدية المرتبطة بالعرق، والتي تزيد مع الانفعالات]. أما الأفراد «الحياديون»، فإنهم أظهروا تنفّزا أقل، وكانت ردود أفعالهم الفزيولوجية مشابهة لتلك التي عند أفراد المجموعة الضابطة. أخيرا، فإن الطلبة الذين أخفوا انفعالاتهم لم يظهروا إلا قليلا من التنفّز، ولكن ردود أفعالهم الفزيولوجية كانت شديدة القوة، وهو ما يعني أن إخفاء المرء لانفعالاته تكون له كلفة فزيولوجية.

ماير-سالوفي-كاروزو للذكاء الوجداني Mayer-Salovey-Caruso emotional intelligence test (واختصاره MSCEIT).

يتضمن الاختبار MSCEIT ثمانين مهام؛ مهمتين لكل جانب من جوانب الذكاء الوجداني. وعلى سبيل المثال، فإنه يتم اختبار إدراك الحالات الوجدانية بأن تُقدّم إلى الأفراد المشتركين صورة فوتوغرافية لشخص ما، ويطلب إليهم أن يقدروا درجة الحزن أو السعادة أو الخوف التي يشكفون وجودها على وجه الشخص. ويتم تقدير مدى التحكم في إدراك الحالات الوجدانية بأن يطلب إلى الأفراد المشتركين إلى أي حد تسهل بعض الحالات النفسية (مثل مثلا أو السعادة) القيام ببعض الأعمال المعينة أو أنها تدخل اضطرابا على ذلك. وتقوم الاختبارات أيضا بتقدير معرفة المصطلح المتصل بالحالات الوجدانية. وأخيرا، فإن الجزء المخصص لإدارة الانفعالات يقوم بتقديم مشاهد من الحياة العادية إلى الأفراد المشتركين، ويطلب إليهم اختيار أفضل الطرق والوسائل من أجل إدارة الانفعالات التي تتبهرها هذه المشاهد (انظر الإطار في الصفحة 46). وتظهر النتيجة على هيئة درجة كلية.

والآن، هل لاختبار ماير-سالوفي-كاروزو أداء عالٍ performatant لمعرفة ذلك، قام «ن» براكته <من جامعة ييل> و«ماير» بمقارنته أولا باختبارات

لها. ففي ميدان العمل، يمكن أن يساعد الذكاء الوجداني على حسن تفاهم المرء مع زملائه. وقد أشرف < إ. لوبيز > [من جامعة سري في المملكة المتحدة] على دراسة حول موظفي إحدى شركات التأمين، الذين كانوا يعملون في فرق. وكان يطلب إلى كل موظف أن يعطي درجات للموظفين الآخرين في فريقه من خلال توصيفات مرتبطة بالحالات الوجدانية، من قبيل: «هذا الشخص يتحمل الضغوط من دون أن تتور أعصابه». ثم قام المديرون في الشركة بإعطاء تقديرات لمؤسسيهم بحسب مفردات مشابهة لتلك. وجميع الأشخاص الذين شاركوا في الدراسة خضعوا أيضا لاختبار ماير-سالوفي-كاروزو. وقد كان للموظفون الذين سجلوا أعلى الدرجات في الاختبار MSCEIT هم أولئك الذين نالوا أعلى التقديرات الإيجابية من جانب زملائهم ورؤسائهم. وقد قرر زملاؤهم أنه كانت لهم معهم أقل الصراعات، ونظروا إليهم باعتبارهم خالقين لأجواء إيجابية في العمل، أما الرؤساء فقد ارتؤوا أنهم أكثر من غيرهم من حيث الحساسية على المستوى الشخصي، وأنهم اجتماعيون، ومقاومون لضغوط العمل، وأكثر استعدادا لقيادة الآخرين. كذلك، فإن الدرجات كانت مترابطة مع الوضع التراتبي ومع الراتب.

منافع الذكاء الوجداني

يسهم الذكاء الوجداني كذلك في إقامة علاقات حسنة مع أقران المرء، وفي الحفاظ عليها. ففي دراسة أخرى طُلب إلى طلبة ثان أن يسجلوا يوميات تصف تفاعلاتهم مع الآخرين مدة خمسة عشر يوما. وكان على الطلبة عند حديثهم عن كل تفاعل أن يحددوا جنس الشخص، وكيف عاشوا التفاعل، وما إذا كانوا يرغبون إنشاءه في إحداث انطباع معين عند الطرف الآخر، وما إذا كانوا يعتقدون أنهم قد نجحوا في ذلك. ولقد كشفت النتائج عن وجود ارتباط بين درجات إدارة الانفعالات في الاختبار MSCEIT ومستوى المتعة والاهتمام اللذين أنتجتتهما التفاعلات عند الطلبة، وبخاصة التفاعلات مع الجنس المقابل، وكذلك الثقة التي شعروا بها والأهمية التي أولوها لتلك التفاعلات. وقد قرر الطلبة الذين حصلوا على درجات عالية حول إدارة الانفعالات في الاختبار MSCEIT أنهم شعروا بقدر أعلى من المتعة ومن الحميمية ومن الاهتمام ومن الاحترام للشخص الآخر. كذلك ظهر أن إدارة الانفعالات كانت متلازمة مع الإحساس بإحداث الانطباع المرغوب فيه على الشركاء من الجنس المقابل.

إلى أي حد تعكس درجات اختبار ماير-سالوفي-كاروزو نوعية العلاقات الاجتماعية؟ لقد قام بعض الطلبة بالإجابة عن الاختبار وكذلك بالإجابة عن استبيانات تقدر نوعية صداقاتهم وعلاقاتهم الاجتماعية، وطلب إلى هؤلاء الطلبة أن يأتوا باثنين من أصدقائهم من أجل تقدير نوعية صداقاتهم. وكانت النتيجة أن أصدقاء الأفراد الذين حصلوا على درجات عالية حول إدارة الانفعالات قد وصغورهم بأنهم يجيدون الاستماع للغير وبأنهم يقدمون لهم دعما وجدانيا قيما، ومن جهة أخرى، فإن الذكاء الوجداني يمكن أن يساعد الأشخاص

على إدارة علاقاتهم الغرامية، بحسب ما أظهرته دراسة على مئة وثمانين زوجا من الأشخاص، من منطقة لندن، متوسط أعمارهم خمسة وعشرون عاما، وكان عضوا كل زوج يقومان بأداء اختبار ماير-سالوفي-كاروزو، ثم يجيبان بعد ذلك عن استبيانات حول جوانب متنوعة من علاقتهما، من قبيل نوعية ما يتلقاه كل منهما من الآخر، والسعادة التي يجدها في علاقتهما. وقد أظهرت النتائج تلازما بين السعادة والحصول على درجات مرتفعة في الاختبار عند كل من الشريكين. وفي المقابل، عندما كان أحد الشريكين يحصل على درجة مرتفعة والآخر على درجة منخفضة، فإن درجة الرضا تكون ضعيفة. وهكذا سمحت الأبحاث الحديثة باستخلاص تصور concept الذكاء الوجداني باعتباره مجموعة من المقدرات التي تتعامل مع تعارف الانفعالات وإدارتها. ولا يكن الذكاء الوجداني إيجابيا دائما بالضرورة، فالقدرة على إدراك ما يشعر به الآخرون يمكن أن يستغلها المحتالون في التلاعب بضحاياهم. إن الأقوال الشعبية حول الذكاء الوجداني لهاي مقدمة على ما قرره بشكل قاطع الأبحاث العلمية، ومع ذلك فإن أصحاب الأعمال والمربين يهتمون بموضوع الأحوال الوجدانية، والأبحاث حول إدراك الأحوال الوجدانية تتكاثر.

ولاتزال ميادين عديدة للبحث تنتظر الاستكشاف. فلماذا يميل أفراد معينون إلى الانتفاع بذكائهم الوجداني في مواقف معينة؟ وهناك، مثلا، في السياسة، بعض الأشخاص الذين يتمتعون بموهبة استثنائية في استخدام انفعالاتهم في حياتهم العامة، بينما تبدو حياتهم الخاصة بانسة، ومن جهة أخرى، كيف تظهر الاختلافات الفردية خلال العمليات الوجدانية؟ لقد أبرز الباحثون العلميون حتى اليوم مبادئ تتصف بالعمومية، ومن شأنها أن تضيف إضاءة مهمة إلى طبيعة الخبرة الوجدانية الإنسانية. ومع ذلك، ففي داخل ثقافة معينة، يختلف الأشخاص بعضهم عن بعض، من حيث القدرة على تفسير الإشارات الوجدانية وعلى استخدامها، وأخيرا، لماذا يكون أشخاص بآعينهم أكثر قدرة من غيرهم على التعامل مع انفعالاتهم؟

Les bienfaits de l'intelligence émotionnelle (*)
Hébraïque (1)

المؤلفان

Daisy Grewal - Peter Salovey

تشكر المجلة American Scientist للسماح لنا بنشر هذه المقالة.

كريبول باحث في علم النفس لدى جامعة ييل، أما سالوفي فهو استاذ علم النفس في هذه الجامعة، حيث يدير مختبر الصحة والعواطف والسلوكيات.

مراجع للاستزادة

- A. DAMASIO, Spinoza avait raison, Joie et tristesse, le cerveau des émotions, éd. Odile Jacob, 2005.
J. MAYER et al., Measuring emotional intelligence with the MSCEIT V2.0, in Emotion, vol. 3, pp. 97-105, 2003.
A. DAMASIO, Le sentiment même de soi. Corps, émotion, conscience, éd. Odile Jacob, 2002.

كاليفورنيا بأنجلوس، وفي جامعة كاليفورنيا الجنوبية، وفي مركز مسرع ستانفورد الخطي (Stanford Linear Accelerator Center SLAC)، مستخدمين حزمًا من مصادم ستانفورد الخطي.

أولاً، وفي المقام الأهم، تخطى هؤلاء الباحثون مشكلة كون طول المسرعات البلازمية العاملة بالليزر مساوياً عدة طليمترات فقط، فصنعوا مسرعاً بلازمياً لكل

لقد وصفت هذه المسرعات على أنها مسرعات إلكترونات فقط، أما لتسريع جسيمات شحنتها موجبة، كالبيزوترونات، فيجب عكس جهة الحقل الكهربائي. وأسهل طريقة للقيام بهذا هي استخدام حزمة جارة من البيزوترونات، فالشحنة الموجبة لهذه الحزمة تجذب إلكترونات البلازما إلى الداخل، وكما في السابق، تتجاوز الإلكترونات المحور المركزي وتشكل فقاعة. ويكون اتجاه الحقل

أن صنع جهاز عملي لا يزال يواجه تحديات قاهرة. فعلى وجه الخصوص، يجب على مهندسي الحزم تحقيق حزم ذات مواصفات كافية من حيث الجودة، والكفاءة (أي مقدار طاقة الحزمة الجارة الذي يصل إلى الجسيمات المسرعة)، وتفاوتات التحازي المسموح بها (يجب أن تكون الحزم متحاذية بدقة لا تتجاوز بضعة نانومتترات عند نقطة التصادم)، وأخيراً فإن معدل التكرار في

بين المسرع أن الإلكترونات اكتسبت طاقة تفوق 4 جيجا إلكترون فط في 10 سنتيمترات فقط.

من الإلكترونات والبيزوترونات طوله متر واحد. وقد تطلب إبقاء الحزم الجارة مستقرة على طول تلك المسافة مهارة كبيرة. ثانياً، تمكنوا من تحقيق ربع في طاقة الإلكترونات يفوق 4 جيجا إلكترون فط على مسافة 10 سنتيمترات فقط. ولم يحد ربع الطاقة هذا سوى اعتبارات عليّة فقط، وليس أي قضية عليّة، وهذا يعني أنه يمكن زيادته بمجرد زيادة طول البلازما وأخيراً يثبتون أن البلازما يمكن أن تضاعف تهيئ حزمة الإلكترونات أو البيزوترونات، المباشرة أصلاً، مرتين على الأقل. وهذا تحسين مهم لمصادم يجب أن تُبنى فيه الجسيمات المسرعة في بقعة صغيرة جداً. تكماً كانت الحزم مبدارة بدقة أعلى، أنتج المصادم عدداً أكبر من التصادمات، وفي المصادم، تكافى أهمية معدل التصادمات، بوصفه بارامتراً، أهمية الطاقة الكلية ذاتها.

لقد أذكت هذه الفتوح التقانية التخمينات حول إمكان الوصول بالطريقة البلازمية إلى حدود الطاقة العليا، لكن يجب أولاً اختبار هذه التقنية باستخدام مسرع موجود حالياً ممثلاً المرحلة الأولى. فمثلاً، يمكن تركيب جهازيّ حقل مخرّ بلازمي عند أي من طرفي نقطة التصادم في مسارع ستانفورد الخطي. وهذا يمكن أن يضاعف طاقات الحزم الحالية جاعلاً إياها 100 جيجا إلكترون فط، بدلاً من 50 جيجا إلكترون فط، وحينئذ سيكون طول كل من الحرفين البلازميين اللاحقين نحو 10 أمتار. ومع أن هذا المشروع لم يعمل حتى الآن، فقد اقترح مركز مسرع ستانفورد الخطي على وزارة الطاقة الأمريكية بناء خط حزمة عالية الطاقة يدعى SABER لمتابعة هذا البحث.

الكهربائي معكوساً مقارنة بحالة حزمة الإلكترونات التي وصفتها سابقاً، وهذا هو المطلوب لتسريع حزمة البيزوترونات المجرورة. يُضاف إلى ما سبق أنه يمكن لهذه الآلات المعتمدة على البلازما أن تسرع جسيمات أثقل من قبيل البيزوترونات. والشرط الوحيد لذلك هو أن تكون الجسيمات المحقونة قد سرّعت سلفاً حتى سرعة الضوء تقريباً، كي لا تتخلف عن موجة البلازما. هذا يعني بالنسبة إلى البيزوترونات، أن طاقة الحقن يجب أن تكون عدة جيجا إلكترون فط.

يحرز الفيزيائيون تقدماً سريعاً في سعيهم نحو المسرع البلازمي. ومع أن العديد من القضايا الفيزيائية الأساسية قد حلّت، إلا

الجهاز (أي عدد النبضات التي يمكن تسريعها في كل ثانية) ذو أهمية أيضاً. لقد أمضى بناءً المسرعات العادية 75 عاماً حتى وصلوا إلى طاقات تصادم للإلكترونات والبيزوترونات في مجال الـ 2000 جيجا إلكترون فط. أما المسرعات البلازمية، فتتقدم بسرعة أكبر، ويأمل الباحثون أن يتجزوا التقانة الجديدة، التي تتجاوز المنظومات القائمة على الموجات الميكروية في فيزياء الطاقة العالية، خلال عقد أو اثنين فقط. وقبل ذلك بكثير، سوف تُنتج تقانة حقل المخرّ الليزري مسرعات توضع على الطاولة، استطاعتها في مجال الجيجا إلكترون فط، لتحقيق تطبيقات غنية التنوع. ويضفي ركوب الموجة قُدماً. ■

المؤلف

Chandrashekar Joshi

أستاذ الهندسة الكهربائية في جامعة كاليفورنيا بولس أنجلوس ومدير مركز إلكترونيات الشدود العالية، ولتنشأة للأبحاث المسرعات المتقدمة في الجامعة نفسها. وبصفته رائداً في تقنيات التسريع المتقدمة، فقد اكتسب شهرة واسعة بسبب إسهامه في مجالات بصريات البلازما اللاخطية، والتأثيرات بين المادة والليزرات الشديدة، وتطبيقات علم البلازما في الاندماج، والمسرعات والنماذج الضوئية.

مراجع للاستزادة

Plasma Particle Accelerators. John M. Dawson in *Scientific American*, Vol. 260, No. 3, pages 54-61; March 1989.

Plasma Accelerators at the Energy Frontier and on Tabletops. Chandrashekar Joshi and Thomas Katsouleas in *Physics Today*, Vol. 56, No. 6; pages 47-53; June 2003.

Accelerator Physics: Electrons Hang Ten on Laser Wake. Thomas Katsouleas in *Nature*, Vol. 431, pages 515-516; September 30, 2004. Also three research reports in the same issue *The Lasers, Optical Accelerator Systems Integrated Studies (L'OASIS) Group at the University of California, Berkeley*: <http://foasis.lbl.gov/>

Stanford's Plasma Wakefield Accelerator Experiment: www.slac.stanford.edu/grp/arb/e164/index.html

المكنيتارات: نجوم فائقة المغنطيسية^(*) بعض النجوم فائقة المغنطيسية لدرجة أنها تُصدر دفقات هائلة من الطاقة المغنطيسية، وتغير الطبيعة الكهرومغناطيسية للخلاء.

Ch. كوليتوتو، C. R. دانكن، C. طومسون

كانت هذه النبضة من أشعة كاما ذات الطاقة العالية القاسية hard أقوى مرة من أي انبثاق سابق لأشعة كاما من خارج المنظومة الشمسية، على الرغم من استمرارها عُشري ثانية فقط. في تلك الأثناء، لم يلاحظ أحد شيئاً، واستمرت الحياة بوجه هادئ وطبيعي تحت الغلاف الجوي الواقي لكوكبنا، ولحسن الحظ، فقد نجت السفن الفضائية العشر من دون أن تحل بها أضرار دائمة. تبع هذه النبضة الشديدة وهج أقل سطوعاً لأشعة كاما الأقل طاقة وللأشعة السينية، التي خفتت تدريجياً خلال الدقائق الثلاث التالية وخلال ذلك، صارت الأشعة تتذبذب برفق بدور قدره ثنائي ثوانٍ. وبعد 14 ساعة ونصف، أي في الساعة الواحدة وسبع عشرة دقيقة من يوم 1979/3/6 أنت بنقطة أخرى من البقعة نفسها في السماء، لكنها كانت أقل سطوعاً، وعلى مدار السنوات الأربع التالية تمكن

Overview / Ultramagnetic Stars (***)

MAGNETARS (**) العنوان الأصلي

(*) الكلمة magnetar منحوتة من الكلمتين الإنكليزيتين magnetic star (النجم المغنطيسي) وعريت منحوتة. مكنيتار.

في 1979/3/5، وبعد عدة أشهر من إسقاط مسابير استكشاف كوكب الزهرة ذي الغلاف الجوي السام، كانت سفينتا الفضاء السوفييتيتان Venera 11 و Venera 12 تنفذان عبر المنظومة الشمسية الداخلية في مدار إميليجي. لقد كانت رحلة غير زاهرة بالأحداث، فقراءات مقاييس الإشعاع على متن كل منهما كانت تتأرجح حول مئة عُدة في الثانية، لكن في الدقيقة الواحدة والخمسين بعد العاشرة صباحاً بتوقيت شرق الولايات المتحدة الأمريكية، داهمتها نبضة من أشعة كاما. وخلال جزء من المي ثانية، قفز مستوى الإشعاع إلى أعلى من 200 000 عُدة في الثانية، ثم تجاوز الحد الأقصى للمقياس.

وبعد 11 ثانية غمرت أشعة كاما مسبار الفضاء Helios 2، التابع للوكالة ناسا، والذي كان يدور أيضاً حول الشمس. كان من الواضح أن ثمة جبهة موجية مستوية من الأشعة ذات الطاقة العالية تجتاح المجموعة الشمسية، سرعان ما وصلت إلى كوكب الزهرة وتجاوزت طاقة قياس كاشف الإشعاع على متن مركبة الفضاء Pioneer Venus Orbiter. وخلال ثوانٍ وصلت أشعة كاما إلى الأرض، وغمرت كواشف الإشعاع المحمولة على متون ثلاثة من سواتل التابعة لوزارة الدفاع الأمريكية، وعلى الساتل السوفييتي Prognos 7، ومرصد Einstein. وأخيراً، عندما كانت الموجة في طريقها للخروج من المنظومة الشمسية، داهمت مركبة الفضاء International Sun Earth Explorer.

نظرة إجمالية/ نجوم فائقة المغنطيسية^(**)

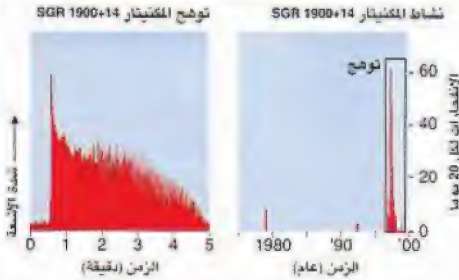
- وجد الفلكيون بضعة نجوم تطلق ومضات متوهجة من أشعة كاما والأشعة السينية يفوق سطوعها ملايين المرات سطوع أي مصدر نذكر آخر لهذه الأشعة، تشير الطاقات الهائلة والانبثاقات النابضة المصاحبة لهذه الأشعة إلى أن مصدرها هو ثاني أكثر الأجرام الكونية غرابة (بعد الثقوب السوداء)، ألا وهو النجم النيوتروني.
- يملك هذا النوع من النجوم النيوترونية أقوى حقل مغنطيسي جرى قياسه على الإطلاق. ولذلك سميت مكنيتارات^(*)، أي النجوم الفائقة المغنطيسية. تثير الطاقة المغنطيسية العالية اضطرابات على سطوح المكنيتار تشبه الزلازل الأرضية، ويحدثها تفسير ومضات (توقدات) الأشعة الساطعة.
- تظل المكنيتارات ناشطة قرابة عشرة آلاف سنة فقط، وهذا يدل على أن الملايين منها تجوب مجرتنا من دون اكتشافنا لها بعد.

يطلق زلزال مجي على مكنيتار قدراً كبيراً من الطاقة المغنطيسية يعادل طاقة زلزال أرضي بمقدار 21 وفق مقياس ريختر، ويصدر نغمة نارية من الأنوار صفراء اللون.

نجوم مرشحة لتكون مكثفات^(١)



اكتشف هنا عشر مكثفًا في مجرتنا
(درب التمام) أو قريبًا منها.



أكد التوهج الهائل الذي حدث في الشهر 1998/8 وجود المكثفات، وقد بدأ بومضة قصيرة من الإشعاع استغرقت أقل من ثانية (في اليسار) تليها سلسلة من النبضات التي كانت تحدث كل 5.16 ثانية. كان هذا الحدث أكبر انفجار رُصد من هذا النجم (الذي سُمي SGR 1900+14)، وذلك منذ اكتشافه عام 1979 (في اليمين).

اسم المصدر	عام اكتشافه	زمن الدوران (ثانية)
SGR 0526-66	1979	8.0
SGR 1900+14	1979	5.16
SGR 1806-20	1979	7.47
SGR 1801-23*	1997	?
SGR 1627-41	1998	?
AXP 1E 2259-586	1981	6.98
AXP 1E 1048-59*	1985	6.45
AXP 4U 0142+61	1993	8.69
AXP 1RXS 1708-40*	1997	11.0
AXP 1E 1841-045	1997	11.8
AXP AXJ 1844-0256	1998	6.97
AXP CXJ 0110-7211*	2002	5.44

* غير معين بالشكل لعدم معرفة التردد بدقة
* اسم مختصر

تولوز بفرنسا في الشهر 1986/7، جرى الاتفاق بين الفلكيين على المواقع التقريبية لهذه المصادر الثلاثة، وأطلقوا عليها اسم «مكررات أشعة كاما اللينة»، (SGRs) soft gamma repeaters. وبهذا اكتسبت أبعاد علم الفلك عنصرا جديدا.

مرت سبع سنوات أخرى قبل أن يبتكر اثنان من مؤلفي هذه المقالة (دانكن وطومسن) تفسيراً لهذه المصادر الغريبة. وفي عام 1998 وجدت المؤلفات المشاركة «كوفليوتو» وشريكها دليلاً قوياً على هذا التفسير. وترتبط المشاهدات الرصدية الحديثة نظريتنا بنوع آخر من الألفان السماوية المعروفة بنباضات الأشعة السينية الشاذة (AXPs) anomalous X-ray pulsars. وقد أدت هذه التطورات إلى طفرة في فهمنا لواحد من أكثر الأجسام السماوية غرابة ألا وهو النجم النيوتروني.

النجوم النيوترونية هي أكثر الأجسام المادية المعروفة كثافة، لأنها

P. E. مازيتس» وزملاؤه [من معهد Ioffe في سانت بطرسبرغ بروسيا] من رصد 16 انبثاقاً لأشعة كاما من الاتجاه نفسه. تفاوتت تلك الانبثاقات في درجة سطوعها، لكنها كانت جميعاً أقل سطوعاً وأقصر زمناً مما حدث في 1979/3/5.

لم ير الفلكيون شيئاً كهذا من قبل، وبغية حصولهم على فكرة أفضل، فقد وضعوا مبدئياً هذه الانبثاقات ضمن تصنيفات نوع آخر من انبثاقات أشعة كاما (GRBs) gamma-ray bursts التي كانت معروفة على وجه أفضل في ذلك الوقت. على الرغم من اختلافاتها الواضحة في عدة أوجه. وفي منتصف الثمانينات، أدرك «C. K. هارلي» [من جامعة كاليفورنيا بيريكلي] أن ثمة انبثاقات مشابهة تأتي من موضعين آخرين في السماء. كان واضحا أن هذه المصادر تطلق تلك الانبثاقات بطريقة متكررة على عكس انبثاقات GRB التي لا تتكرر من الموضع نفسه مرة أخرى [أنظر: «أسطح الانفجارات في الكون»، **العلوم**، العددان 7/6 (2003)، ص 32]. وفي مؤتمر للفلكيين في

نوعان من النجوم النوترونية^(١)

1 يُظن أن معظم النجوم النوترونية تبدأ كتجموع ضخمة، لكن عادية، بكتل تقع بين ثماني مرات وعشرين مرة من كتلة الشمس.

2 تنتهي حياة هذه النجوم الضخمة بانفجار مستعر أعظمي من النوع الثاني، type II، عندما يتحول قلب النجم إلى كرة كثيفة من الجسيمات الأولية/ دون الذرية.

3A إذا كان النجم النوتروني المولود حديثاً يدور بسرعة عالية بقدر كاف، فإنه يولد حقلاً مغناطيسياً كثيفاً، تلتوي خطوطه داخل النجم.



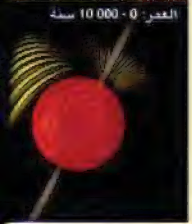
العصر: 0 - 10 نوايز

3B إذا كان النجم النوتروني المولود حديثاً يدور ببطء، فعلى الرغم من أن حقله المغناطيسي قوي بالمقاييس الاعتيادية، فإنه لا يبلغ مستوى المكثبات.



العصر: 0 - 10 ملايين سنة

4A يستقر المكثبات في نهاية المطاف، تلتوي في أنماط خطوط الحقل المغناطيسي وتنتشر منتظمة في الخارج. وقد يصار إلى حزمة ضيقة من الموجات الراديوية.



العصر: 0 - 10,000 سنة

4B يكون النجم النابض الناضج أبرد من المكثبات الذي له العمر نفسه. يصدر النجم حزمة راديوية عريضة المقاريب رصدها بسهولة.



العصر: 0 - 10 ملايين سنة



واضح التفسير، وعلى سبيل المثال، اقترح عدد من الفلكيين النظريين أن هذا الانفجار كان نتيجة تصادم كتلة مادية، كأن تكون كويكبا أو مذنباً، بنجم نوتروني قريب.

لكن سرعان ما أربكت الأرصاد هذه الفرضية، فقد سجلت السفن الفضائية المختلفة زمن وصول نبضة 1979/3/5 القوية، واتاحت هذه المعلومات للفلكيين بقيادة <L. T> كلاين- [من مركز كودارد للطيران الفضائي التابع للوكالة ناسا] تحديد مصدر الانبثاق، ويوجد الباحثون أن ذلك الموضع يتطابق مع موضع السحابة الماجلانية الكبيرة، وهي مجرة صغيرة تبعد عنا قرابة 170 ألف سنة ضوئية، وبالتحديد فقد وافق الموضع مكان بقايا مستعر أعظمي قتي young supernova remnant، وهو التوهج المتبقي من آثار نجم انفجر قبل خمسة آلاف سنة، وإذا لم يكن هذا الاقتران محض صدفة، فهو يضع المصدر أبعد ألف مرة عن ذاك الذي ظنه النظريون، الأمر الذي يتطلب أن يكون الانفجار أسطع من حد إدنغتون بمليون مرة. في غضون 0.2 من الثانية، أطلق حدث الشهر 1979/3 طاقة تعادل ما تطلقه الشمس في عشرة آلاف سنة، وركزها في أشعة كما بدلا من توزيعها عبر نطاق الطيف الكهرومغناطيسي.

ليس هناك نجم عادي يمكنه إصدار هذه الطاقة، ولهذا بات من

تحوي مادة كتلتها أكبر من كتلة الشمس بقليل في حيز قطره 2(كيلومترا فقط. وبناء على دراسة المصادر SGRs يبدو أن لبعض النجوم النوترونية حقلاً مغناطيسياً قانق الشدة لدرجة أنها تغير جذريا طبيعة المادة بداخلها والحالة الكمومية للخلاء المحيط بها، وهذا يؤدي إلى تأثيرات فيزيائية لا يمكن مشاهدتها في أي مكان آخر من الكون.

ليس من المفترض أن تفعل ذلك^(٢)

لأن اثنائيك الشهر 1979/3 كان شديد السطوع، اعتقد الفلكيون النظريون في ذلك الوقت أن مصدره يقع داخل مجرتنا وعلى بعد بضعة مئات من السنين الضوئية على الأكثر من الأرض. ولو كان ذلك صحيحا، لكانت شدة الأشعة السينية وأشعة كاما أقل قليلا من الحد الأقصى النظري للسطوع المستقر الذي بإمكان نجم ما أن يصدره. وتحكم هذا الحد الأعلى، الذي استنتجه الفيزيائي الفلكي البريطاني <A> إدنغتون في عام 1926، قوة تدفق الأشعة خلال الطبقات الخارجية الساخنة للنجم، إذا تجاوز سطوع الأشعة هذا الحد، فاقت قوتها قوة ثقالة النجم، وأبعدت المادة المتأينة، وأخلت بتوازن النجم، وبطبيعة الحال، فإن الإشعاع الأدنى من حد إدنغتون

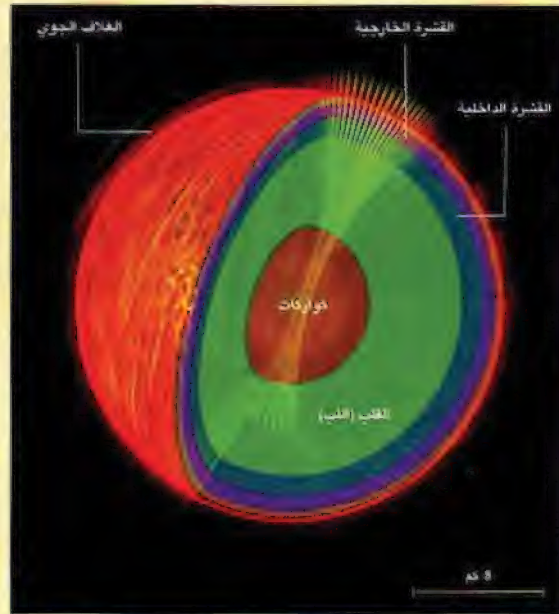
محتمل، فلا بد أن يرتد بسرعة تقدر بنحو ألف كيلومتر في الثانية لحظة ولادته، وهذه السرعة العالية كانت تعد غير اعتيادية لنجم نتروني. وفي نهاية المطاف، فإن الانفجارات نفسها بدت متعذرة التفسير. فقد رُصدت سابقاً ومضات أشعة سينية صادرة عن بعض النجوم النترونية، لكنها لم تعد قط حد إدينجتون. ونسب الفلكيون هذه الومضات إلى اندماج نووي حراري للهيدروجين أو الهيليوم، أو إلى تفاعل مفاجئ sudden accretion لل مادة باتجاه النجم. لكن سطوع انفجارات SGR كان غير مسبوق. ومن ثم فقد بدا أن ثمة آلية فيزيائية جديدة أصبحت مطلوبة.

التباطؤ الدوراني الأبدي⁽¹⁾

رُصدت آخر بثقة من مصدر الشهر 1979/3 في الشهر 1983/5 ولم تُرصد عنه بثقات أخرى في التسعة عشر عاماً التالية. وفي عام 1979 نشط أيضاً مصدران آخران من النمط SGR، ولأيزالآن نشطين، إذ أطلقا مئات من النفثات في الأعوام التالية. وقد اكتُشف مصدر رابع من

النمط SGR عام 1998. لثلاثة من هذه المصادر الأربعة ارتباطات محتملة مع بقايا مستعر أعظمي قتي، لكن هذه الارتباطات لم تثبت بعد. هناك اثنان منها يقعان أيضاً قرب حشود كثيفة لنجوم ضخمة فتية، وهذا يلحح إلى تكون المصادر SGR من هذا النوع من النجوم. وهديثاً، نشط مصدر خامس مرشح ليكون من النمط SGR لم يصدر بثقات كما سوى مرتين فقط، لكن موقعه الدقيق لم يحدد بعد.

وفي عام 1996 توصل فريق من العلماء من المختبر الوطني بلوس ألاموس - هم «A. B» تشيكنر، و«J. R» إيسنتن، و«A. R» كايير، و«A. C» يانك - إلى أن بثقات المصادر من النمط SGR تشبه إحصائياً الزلازل الأرضية. فالتوزيعات الرياضياتية للطاقة شديدة التشابه، إذ تحدث الانبثاقات ذات الطاقة الأقل بقدر أوفر، وقد ثبتت تلميذتنا «E. كوكس» [الذي يجري دراسات عليا في الأيماها بياتنسل] من هذا السلوك لعينة كبيرة من الانبثاقات من مصادر مختلفة. هذه الخصائص الإحصائية هي سمة مميزة لأحداث حرجية ذات تنظيم ذاتي self-organized criticality، يصل فيها نظام مركب إلى حالة حرجية تجعل أي اضطراب طفيف يؤدي إلى تفاعل متسلسل. ويحدث هذا السلوك في أنظمة شتى مثل انهيارات التلال الرملية والتوهجات المغنطيسية magnetic flares على سطح الشمس.



يمكن استنشاح التركيب الداخلي لنجم نتروني من نظريات المادة النووية nuclear matter. تحدث الزلازل النجمية star quakes على الغشيرة الخارجية للنجم التي تتكون من نسيج شبكي من نوى ترية وإلكترونات، يتكون لب (قلب) النجم أساساً من النترونات، وربما الكواركات quarks. وقد يتكون حوله غلاف جوي من البلازما الساخنة التي ترتفع فوق سطحه بضعة سنتيمترات.

جود المكنيثار المتقدم في العصر. ويسمى مغنطيسية رال وهو بيت قدراً ضئيلاً طاقة.

من 10 000 سنة

من النجم التبايض المتقدم في العمر، ويتوقف عن عزيم من الموجات

من 10 ملايين سنة

المؤكد أن المصدر شيء فوق العادة، أي ثقب أسود أو نجم نتروني. وقد استبعد الاحتمال الأول بسبب نبضان الأشعة بدور قدره 8 ثوان، فالثقب الأسود ليست له سمات مميزة، ويفتقر إلى الموصفات المطلوبة لإصدار نبضات منتظمة. ثم إن ربط مصدر الانفجار ببقايا المستعر الأعظمي أدى إلى تعزيز فكرة النجم النتروني. وثمة اعتقاد واسع بأن النجوم النترونية تتكون عندما يستنفد نجم ضخماً الكتلة - لكن عادي - وقوده النووي من قلبه، ومن ثم ينهار بسرعة بسبب وزنه محدثاً انفجار مستعر أعظمي.

إن اعتبار المصدر نجماً نترونيا لم يحل اللغز، بل على العكس زاده غموضاً، فقد عرف الفلكيون عدة أمثلة عن نجوم نترونية تقع داخل بقايا مستعرات أعظمية. هذه النجوم نباضات راديوية radio pulsars، وهي أجسام شوهدت تُطلق ومضات راديوية الموجة. لكن دوران مصدر انفجار الشهر 1979/3، الذي يستغرق ثنائي ثوان ليدير مرة حول نفسه، أبداً بكثير من أي نباض راديوي معروف. كذلك ففي الوقت الذي لم يكن فيه مصدر الانبثاق يرسل ومضات كما، كان هذا المصدر يرسل ومضات من الأشعة السينية على نحو منتظم، وهذا يتطلب طاقة أكبر من تلك التي توفرها الحركة الدورانية لنجم نتروني. ومن المستغرب أن النجم كان مُزاحاً إزاحة شديدة عن مركز بقايا المستعر الأعظمي. فإذا وُلد النجم في المركز، وهذا شيء

كيف تحدث انفجارات المغنيتارات

الحقل المغنطيسي لمغنيتار قوي إلى درجة تؤدي إلى تشقق قشرته وتفتيتها أحيانا، مطلقا شرا كبيرا من الطاقة



1 يكون المغنيتار هادئا معظم الوقت. لكن الإجهادات المغنطيسية تتراكم ببطء.



2 وفي مرحلة ما، تتجاوز الإجهادات التي تتعرض لها القشرة حدودها، عند ذلك تنكسر القشرة، وربما تتحول إلى عدد كبير من القطع.



3 يولد هذا الزلزال النجمي تيارا كهربائيا قويا جدا، ثم يضمحل خلفا وراءه كرة نارية حارة.



4 تدره الكرة النارية بواسطة إطلاقها أشعة سنبلية من سطحها، ثم تتبخر في دقائق، أو أقل.

لمعظم الفلكيين أن الحقل المغنطيسي هو أثر النجم قبل تحوله إلى مستعر أعظمي. إن لجميع النجوم في حالتها العادية حقولا مغنطيسية ضعيفة، ومن الممكن أن تقوى هذه المجالات بفعل الانضغاط. ووفقا لمعادلات ماكسويل في الكهرومغنطيسية، فعند تقلص جسم ممغنط إلى نصف حجمه الأصلي، فإن شدة حقله المغنطيسي تتضاعف أربع مرات. ولما كان حجم اللب الداخلي للنجم ضخم يصغر عند تحوله إلى نجم نيتروني 10^6 مرة، فإن شدة حقله المغنطيسي تكبر 10^{10} مرة.

وإذا كان الحقل المغنطيسي لللب النجم قويا بدرجة كافية في البداية، فإن هذا الانضغاط يمكن أن يقسر مغنطيسية النجم النباض. لكن، لسوء الحظ، لا يمكن قياس الحقل المغنطيسي في أعماق النجم، لذا يصعب اختبار هذه الفرضية البسيطة. هناك أيضا أسباب وجيزة تدعو للاعتقاد بأن الانضغاط ليس سوى جزء من القصة.

يمكن للغازات أن تتحرك دائريا داخل النجم بفعل الحمل الحراري convection، فترتفع الأجزاء الساخنة من الغازات المتأينة في حين تهبط أجزائها الباردة. ولأن الغازات المتأينة موصلة جيدة للكهرباء، فأي خطوط للحقل المغنطيسي تتخلل الغازات، تتساق معها أثناء الحركة. لذا يمكن للحقل أن يتطور ويقوى أحيانا. تُعرف هذه الظاهرة باسم «فعل الدينامو» Dynamo Action، ويُعتقد أنها المسؤولة عن توليد الحقول المغنطيسية للنجوم والكواكب. قد يكون فعل الدينامو مؤثرا في كل مرحلة من حياة النجم تدور خلالها أجزاؤه الداخلية المضطربة بسرعة كافية. إضافة إلى ذلك، يشتد الحمل الحراري بوجه خاص خلال مدة قصيرة تعقب تحول لب النجم إلى نجم نيتروني.

أظهر ذلك أول مرة عام 1986 في محاكيات حاسوبية أجراها «أ. بارروز» [من جامعة أريزونا] و«M. J. L. لايمير» [من جامعة نيويورك في ستوني بروك] إذ وجدا أن درجات الحرارة داخل نجم نيتروني حديث الولادة تتجاوز 30 بليون درجة كلفن، وأن المائع النووي الساخن

لكن لماذا يتصرف نجم نيتروني على هذا النحو؟ انبثق الحل من خط عمل مختلف تماما، ألا وهو النباضات الراديوية radio pulsars التي يُعتقد على نطاق واسع أنها نجوم نيترونية مغنطة سريعة الدوران. إن الحقل المغنطيسي لهذه النجوم (الذي تسائده تيارات كهربائية تتناسب في أعماق النجم) يدور مع النجم، وهذا يؤدي إلى انبعاث أحزمة من الموجات الراديوية من القطبين المغنطيسيين للنجم، ويدورانها مع النجم، تجتاح هذه الموجات الفضاء، تماما كضوء، منارات السفن، ومن هنا تأتي النبضات المرصودة. يطلق النجم النباض أيضا دفقة من الجسيمات المشحونة والموجات الكهرومغنطيسية المنخفضة التردد التي تستقطع بدورها طاقة ووزما زاوياً angular momentum من النجم، وهذا يتسبب في انخفاض معدل دورانه تدريجيا.

لعل النجم النباض الأكثر شهرة هو الكامن في سديم السرطان crab nebula، وهو بقايا انفجار مستعر أعظمي شوهد عام 1054. يدور هذا النجم حول نفسه مرة كل 33 ملي ثانية، ويتباطأ دورانه بعدد 1.3 ملي ثانية لكل قرن. وبإجراء استقراء تراجعي لتغير سرعة دورانه وفق هذا المعدل، يتبين أن النجم قد ولد وهو يدور حول نفسه مرة كل 20 ملي ثانية. ويتوقع الفلكيون أن يستمر النجم في التباطؤ إلى أن يبلغ معدل دوران بطيء جدا لا يكفي لإصدار نبضات راديوية. لقد قيس معدل تباطؤ التدويم spin-down rate لجميع النباضات الراديوية تقريبا، وتشير الدراسات النظرية إلى اعتماده على شدة الحقل المغنطيسي للنجم، ومن هذه العلاقة، استنتج أن الحقل المغنطيسي لغالبية النباضات الراديوية الفتية يقع بين 10^{12} و 10^{13} كاوس. وبغية المقارنة، فإن قوة مغنطيس الشلابة قرابة 100 كاوس.

فرن الحمل الحراري الأعظم

تترك هذه الصورة سؤالاً أساسيا من دون جواب وهو: من أين انطلق هذا الحقل المغنطيسي في البداية؟ لقد كان الافتراض المعهود

How Magnetar Bursts Happen (١٠)

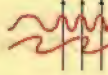
العنوان الأصلي: The Ultimate Convection Oven (١١)

مغناطيسية متطرفة⁽¹⁾

الحقول المغناطيسية تأثير مريك في الإشعاع والمادة

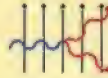
الانكسار الثاني للخلأ

تغير الموجات الضوئية المستقبلية [اللون البرتقالي] سرعتها، ومن ثم أطوالها الموجية، وذلك عند دخولها حقلا مغناطيسيا قويا جدا.



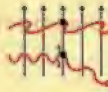
انقسام الفوتونات

الأثر الناتج عن ذلك هو أن الأشعة السينية إما أن تنقسم إلى قسمين، وإما أن تندمج معا. وهذه العملية مهمة في الحقول التي هي أقوى من 10^{14} غاوس.



إضماد التبعثر

يكن لوجة ضوئية أن تنسل عبر إلكترون [الدائرة السوداء]، موجبة إعاقة طفيفة إذا منع الحقل الإلكترون من الاهتزاز مع الموجة.



تشويه الذرات

إن الحقول التي هي أقوى من 10^9 غاوس تضغط مدارات الإلكترونات لتتخذ أشكال سبيكار (sugar). وفي حقل قوته 10^{14} غاوس، تضيق ذرة الهيدروجين في وسطها 200 مرة.



يدور داخل النجم مرة كل 10 ملي ثانية، أو أقل، حاملا كمية هائلة من الطاقة الحركية. وبعد نحو 10 ثوان يتوقف الحمل الحراري.

وبعد مدة ليست بالطويلة من إجراء «باروز» و«لاتيمير» محاكاتها الأولى، قام «دانكن» و«طومسون» [الذين كانا بجامعة برنستون في ذلك الوقت] بتقدير ما يعنيه ذلك الحمل الحراري الهائج لمغناطيسية النجم النتروني، ويمكن للشمس، التي تمر بمرحلة هادئة من العملية نفسها، أن تكون مرجعا. فأتناء دوران المانع النووي داخل الشمس، يسحب معه خطوط الحقل المغناطيسي، ويتخلل له عن زهاء 10 في المئة من طاقته الحركية. وبالمثل، فلو أن المانع المتحرك داخل نجم نتروني يتخلل عن عشر طاقته الحركية إلى الحقل المغناطيسي، لازدادت شدة الحقل لتتجاوز 10^{15} غاوس، وهي أقوى بأكثر من ألف مرة من شدة حقول معظم النباضات الراديوية.

يعتمد أداء شغل الدينمو داخل النجم كله (لا داخل مناطق محدودة منه) على كون معدل دوران النجم قريبا من معدل دوران تيارات الحمل الحراري، ويكون هذان المعدلان متماثلين داخل أعماق الشمس، حيث يستطيع الحقل المغناطيسي أن ينظم نفسه على نطاقات واسعة. وقديما على ذلك، فإذا ولد نجم نتروني بمعدل دوران أسرع أو مساو لدور تيارات الحمل الحراري (10 ملي ثانية)، فباستطاعته إحداث حقل مغناطيسي غائق القوة وواسع الانتشار. وفي عام 1992، أسسنا هذه النجوم النترونية الافتراضية مكنيتارات magnetars.

يُقدر الحد الأعلى لمغناطيسية نجم نتروني بنحو 10^{11} غاوس؛ وإذا جرى تجاوز هذا الحد، فإن المانع النووي داخل النجم يفتل، ومن ثم يتبدد الحقل. ليست هناك أجسام معروفة في الكون بإمكانها توليد حقول تتجاوز هذا المستوى، ثم الحفاظ عليها، أحد تفرعات نظريتنا هو أن النباضات الراديوية نجوم نترونية فشل فيها تأثير الدينمو الواسع النطاق في العمل. في حالة نباض السرطان، يدور النجم النتروني الحديث الولادة مرة كل 20 ملي ثانية، وهذا أبطأ بكثير من معدل دوران الحمل الحراري، لذلك فإن الدينمو لم يعمل قط.

تأللاً وَجَعْدُ أيها المكنيتار الصغير⁽²⁾

مع أننا لم نبتكر فكرة المكنيتار لشرح مصادر SGRs فإن تضميناتها سرعان ما أصبحت واضحة لنا. يعمل الحقل المغناطيسي ككوابح قوي لدوران المكنيتار، ففي غضون خمسة آلاف سنة، سوف يبطئ مجال مغناطيسي شدته 10^{15} غاوس من معدل دوران النجم السريع إلى دورة واحدة كل ثماني ثوان، وهذا يفسر بدقة الذبذبات التي رُصدت خلال انفجار الشهر 1979/3.

ويتطور الحقل، تتغير هيئته دافعا تيارات كهربائية على طول خطوط الحقل خارج النجم. وهذه التيارات بدورها، تولد أشعة سينية. وفي غضون ذلك، ومع تحرك الحقل المغناطيسي عبر القشرة الصلبة للمكنيتار، فإنه يحدث انحناءات واستطالات في قشرة النجم. تسفر هذه العملية عن تسخين الجزء الداخلي للنجم، ومن حين إلى آخر، تنشق القشرة محدثة زلزالا نجميا قويا. تحدث الطاقة المغناطيسية المحررة المصاحبة لهذا الزلزال سحابة كثيفة من الإلكترونات والبوزيترونات، إضافة إلى انفجار مفاجئ لأشعة كاما اللينة (soft gamma rays)، وهذا يفسر الانبثاقات الأقل حدة التي

تُعطي SGRs اسمها.

وفي حالات نادرة، يصبح الحقل المغناطيسي غير مستقر، ومن ثم يخضع لإعادة تنظيم على نطاق واسع. وأحيانا تحدث انتفاخات مماثلة في الشمس، ولكن بدرجة أقل مسببة قوهجات (توقدات) شمسية solar flares. ولدى المكنيتار طاقة كافية تمكنه بسهولة من إنتاج توهج هائل مثل الذي حدث في الشهر 1979/3. وتبين النظرية أن نصف الثانية الأول من زمن هذا الانفجار الضخم جاء من كرة نارية متمددة. وفي عام 1995 اقترحنا أن جزءا من الكرة النارية احتُجز بواسطة الحقل المغناطيسي قريبا من سطح النجم. وتدرجيا انكمشت هذه الكرة وتبخرت مطلقة أشعة سينية طوال الوقت. واستنادا إلى كمية الطاقة المحررة فقد قدرنا قوة الحقل المغناطيسي الضرورية لاحتواء الضغط الهائل للكرة النارية بأعلى من 10^{14} غاوس. ويتفق هذه النتيجة مع قوة الحقل المنتجة من معدل تباطؤ التدويم spin-down rate.

وفي عام 1992 قدم «B. باشينسكي» [من جامعة برنستون] تقديرا مستقلا عندما لاحظ أن الأشعة السينية تنساب بسهولة أكبر خلال سحابة من الإلكترونات عندما تكون الجسيمات المشحونة مطمورة في حقل مغناطيسي شديد القوة، فلكي تكون الأشعة السينية شديدة السطوع خلال الانفجار، لا بد للحقل المغناطيسي أن يكون أقوى من 10^{14} غاوس.

وما يجعل النظرية أكثر غموضا هو أن هذه الحقول أقوى من الحد الأعلى لشدة الحقل في النظرية الكهرودينامية الكمومية quantum electrodynamics وهو 4×10^{13} غاوس. وفي حقول قوية كهذه، تحدث ظواهر غريبة، فقد تنقسم فوتونات الأشعة السينية إلى قسمين أو قد تندمج معا. ويصبح الخلأ نفسه مستقطبا وثلاثي الانكسار تجاه الضوء، مثل بلورات الكالسيت. هذا، وتتشوه الذرات

بتوقيت غرب الولايات المتحدة لاحظوا تغيرا مفاجئا في الطبقة العليا الثانية للغلاف الجوي. فقد هبطت الحافة الداخلية لطبقة الأيونوسفير ionosphere من ارتفاع 85 كيلومترا إلى 60 كيلومترا وظلت هكذا مدة خمس دقائق كان ذلك مدهشا حقا، فقد سبب هذا التأثير في كوكبتا نجم نوتروني من المجرة على بعد عشرين ألف سنة ضوئية!

أعجوبة أخرى للمكثبات^(١١١)

كان انفجار 1998/8/27 نسخة طبق الأصل من توهج الشهر 1979/13. ويصفه أساسية. فقد كانت قوته عشر قوة بثقة الشهر 1979/3، لكن لما كان مصدر التوهج أقرب إلى الأرض، فقد كان أشد توهج مرصود لأشعة كاما من بين الانفجارات التي اتنا من خارج المنظومة الشمسية. وقد أظهرت بضع مئات الأخيرة من التواني من التوهج بذبات واضحة دوريا 5.16 ثانية. لقد قامت «كوفليوتو» وفريقها بقياس معدل تباطؤ تدويم النجم باستخدام المرصد RXTE، ومن المؤكد أن النجم SGR 1900+14 كان يتباطأ بمعدل مقارب لمعدل تباطؤ المكثبات 1806-20 SGR، مشيرا إلى حقل مغنطيسي قوي ذي شدة مماثلة. وبذلك دخل نجم جديد من النوع SGR دائرة الشهرة. لقد سمح التحديد الدقيق لمواقع SGR في الأشعة السينية بدراستها باستخدام المقاربات الراديوية ومقاربات الأشعة تحت الحمراء. وقد استحدثت هذه التقنية العديد من الفلكيين لاسيما D. فريل^(١٢) [من المرصد الوطني للفلك الراديوي] و«كولكرني» [من معهد كاليفورنيا للتقانة]. وأظهرت أرصاد أخرى أن جميع مصادر SGRs الأربعة مستمرة في إطلاق طاقة ضعيفة (الأشعة السينية) تتخلل انفجارات كاما. وكلمة «ضعيفة» هنا نسبية، لأن هذه الأشعة السينية أقوى مما تصدره الشمس منها في الضوء المرئي بين 10 و 100 مرة.

يمكن الآن القول إن الحقول المغنطيسية للمكثبات تقاس بطريقة أفضل من قياس الحقول المغنطيسية للنيازات. ففي النيازات المنعزلة يأتي الدليل الوحيد على وجود حقول شديدة 10^{12} كاوس من معدل تباطؤ التدويم. وبالمقابل، فإن اتحاد معدل تباطؤ التدويم العالي والتوهجات الساطعة للأشعة السينية يعطي حججا مستقلة على وجود حقول بقوة 10^{14} كاوس في المكثبات. وخلال إرسال هذه المقالة إلى المجلة قدم «علاء إبراهيم» ومعاونوه [من مركز كودارد للطيران الفضائي التابع للوكالة ناسا] مجموعة أخرى من الأدلة على وجود حقل مغنطيسي قوي في المكثبات تتمثل بخطوط طيفية للأشعة السينية تبدو منبعثة من بروتونات تدور في مجال قدره 10^{15} كاوس.

وهناك تساؤل مثير للاهتمام، وهو يدور حول ما إذا كانت المكثبات مرتبطة بظواهر كونية أخرى إضافة إلى مصادر SGRs. وعلى سبيل المثال، هناك فئة من انبثاقات أشعة كاما القصيرة الأمد من نوع GRB التي لم تفسر بعد بطريقة مقنعة، ويمكن على الأقل لعدد قليل منها أن تكون توهجات مكثبات في مجرة أخرى. فحتى إذا شوهد توهج هائل من مسافات بعيدة، فسوف يكون قريبا من حدود حساسية المقاربات، وسوف تسجل فقط الوضحة الساطعة القصيرة الأمد من أشعة كاما الشديدة، وتصنف على أنها انبثاقات من النوع GRB.

لتتخذ اشكالا أسطوانية طويلة أكثر دقة من الطول الموجي الكمومي النسبي quantum-relativistic wavelength للإلكترون [أنظر الشكل في الصفحة 57]. ولجميع هذه الظواهر الغربية تأثيرات يمكن مشاهدتها في المكثبات، ولأن هذه الفيزياء غريبة جدا فقد جذبت النظرية عددا صغيرا من الباحثين في ذلك الوقت.

انطلق مرة أخرى^(١١٢)

حينما كانت هذه التطورات النظرية تظهر للعيان ببطء، ظل الفلكيون يناضلون لرؤية الأجسام التي هي مصادر هذه الانبثاقات. وقد سنحت الفرصة الأولى عندما سجل مرصد Compton Gamma Ray observatory التابع للوكالة ناسا بثقة في الشهر 1993/10. كانت هذه هي الفرصة التي تنتظرها «كوفليوتو» عندما انضمت إلى فريق مرصد Compton في مدينة هانستفل. استطاع المرصد تحديد مكان الانفجار، لكن في حيز واسع من السماء، طلبت «كوفليوتو» المساعدة من الساتل الصناعي الياباني ASCA، ووجد «T. مراكامي» مع معاونيه [من معهد علوم الفضاء، والملاحاة الفضائية الياباني] أن هناك مصدرا للأشعة السينية في الحيز نفسه. ظل المصدر يث المستوى نفسه من الإشعاع، إلى أن أطلق انبثاقا آخر مثبثا بما لا يدعو للشك أنه من النوع SGR. وقد شوهد المصدر نفسه أول مرة في عام 1979، وبناء على إحدائياته السماوية التقريبية، أطلق عليه اسم SGR 1806-20. ولأن، جرى تعيين موقع النجم بدقة أعلى، وهذا يمكن من مراقبة أنشطته عبر الطيف الكهرمغنطيسي.

جاءت الطفرة التالية عام 1995 عندما أطلقت الوكالة ناسا للمستكشف Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE)، وهو ساتل صمم ليكون بالغ الدقة والحساسية لقياس التغيرات في الأشعة السينية. وباستخدام هذا المرصد، وجدت «كافليوتو» أن البث من SGR 1806-20 يتذبذب بزمّن دوري قدره 7.47 ثانية، وهذا يجعله قريبا على وجه مدهش من التذبذب ذي الثماني ثوان، الذي رُصد في انبثاق الشهر 1979/3 (من SGR 0526-66). وفي غضون خمس سنوات تباطأ دوران (تدويم) هذا المصدر (SGR) اثنين في الألف، ومع أن مقدار هذا التباطؤ قد يبدو صغيرا، فهو أسرع من أي نياز راديوي معروف، ويستلزم حقلًا مغنطيسيا يقارب 10^{15} كاوس.

تتطلب الاختبارات الأكثر دقة لنموذج المكثبات توهجا ضخما آخر. ولحسن الحظ، استجابت السماء بسرعة. ففي الصباح الباكر من 1998/8/27 بعد 19 عاما من التوهج الضخم الذي كان وراء بداية معرفة علم الفلك للمصادر SGR، وصلت الأرض موجة أشد من أشعة كاما والأشعة السينية قائمة من أعناق الفضاء. ودفعت هذه الأشعة كاشفات الإشعاع على متن سبع سفن فضائية علمية إلى أعلى معدلات القياس، أو تجاوزت الحدود القصوى للقياس، وفي إجراء واقائي أجبر أحد مسابير ناسا وهو Comet Rendezvous Asteroid Flyby على التوقف عن العمل. لقد ضربت أشعة كاما الجانب المظلم للأرض حيث كان سُمْتُ zenith مصدورها فوق منتصف المحيط الهادئ.

ومصادفة، كان المهندس «عمران عنان» وزملاؤه [من جامعة ستانفورد] يجمعون بيانات عن انتشار موجات راديوية ذات تردد منخفض جدا حول الأرض. وفي الساعة الثالثة والدقيقة 22 صباحا

المؤلفون

Chryssa Kouveliotou - Robert C. Duncan - Christopher Thompson

يتعاونون في دراسة المكنتارات منذ خمس سنوات، وخبرتهم الإجمالية في هذا المجال نحو 40 عاماً. تعمل الراصدة «كوبليوتو» في المركز القومي لعلم الفضاء، والنقطة بهالسنسل في ولاية ألاباما. وإضافة إلى دراستها لنجوم SGR فهي تهتم أيضاً بدراسة انبثاقات أشعة غاما Gamma Ray Bursts ونبثات الأشعة السينية Binaries، وتسلط هوائياتها علوم الآثار واللغويات. يعمل «دانكن» في جامعة تكساس بأوستن، أما «طومسون» فيعمل في المعهد الكندي للفيزياء الفلكية النظرية بتورنتو. درس «دانكن» المستعرات الأعظمية والحالة المادية للكواريكات quark matter والسحب الغازية بين المجرات، وتتوزع أبحاث «طومسون» من دراسة الأوتار الكونية cosmic strings إلى الارتباطات الكبيرة في المراحل المبكرة للمفطورة الشمسية.

اكتشافات جديدة

شهد عام 2004 حدثين مهمين لنجوم المكنتار اشتعل على اكتشاف نوع جديد من هذه النجوم ورصد توهج هائل من نوع Giant Flare.

■ في 2004/12/27 أطلق المكنتار SGR 1806-20 توهجا هائلا من نوع Giant Flare هو الثالث من هذه النوعية بعد انفجاري 1979/3/5 و 1998/8/27. كان ذلك الانجرار الأكبر من حيث الطاقة وشدة اللمعان وقد صُنّف بأنه أقوى انفجار كوني على الإطلاق [انظر: "In Focus," Scientific American, June 2005]. وقد قام المرصد SWIFT الحديث التابع لوكالة ناسا برصد الانفجار واكد الباحثون في المختبر الوطني بلوس أليوس أن طاقة الانفجار تجاوزت طاقة نظيره السابقين بأكثر من 100 ضعف، الأمر الذي جعله أشد إشاعة من القمر!

■ في أوائل عام 2004 تم الإعلان عن اكتشاف نوع جديد من المكنتارات أطلق عليها المكنتارات الموهجة transient magnetars. يظل هذا النوع من النجوم النثرونية خامدا لفترات طويلة تقدر بعشرات السنين، مما يجعلها دِن مسترى الرصد، ثم تنشط فجأة لفترات وجيزة. يدل هذا الاكتشاف الذي قام به «علاء إبراهيم» ورفاقه من مركز ناسا كودارد لطيران الفضاء على تضاعف أعداد نجوم المكنتارات في مجرتنا وعلى إمكانية تنبع بؤرة حياتها في أطوارها المخفية [انظر: <http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/features/news/28Jan2004.htm> (<http://www.nasa.gov/ceniers/goddard/news/topstory/2004/0106magnetar.html>) (التحرير)]

مراجع للاستزادة

Formation of Very Strongly Magnetized Neutron Stars: Implications for Gamma-Ray Bursts. Robert C. Duncan and Christopher Thompson in *Astronomical Journal*, Vol. 392, No. 1, pages L9-L13; June 10, 1992. Available at makeashorterlink.com/?B16A425A2

An X-ray Pulsar with a Superstrong Magnetic Field in the Soft Gamma-Ray Repeater SGR1806-20. C. Kouveliotou, S. Dieters, T. Strohmayer, J. Von Paradijs, G. J. Fishman, C. A. Meegan, K. Hurley, J. Komers, I. Smith, D. Frail and T. Murakami in *Nature*, Vol. 393, pages 235-237; May 21, 1998. The Life of a Neutron Star. Joshua N. Winn in *Sky & Telescope*, Vol. 98, No. 1, pages 30-38; July 1999.

Physics in Ultra-strong Magnetic Fields. Robert C. Duncan. Fifth Huntsville Gamma-Ray Burst Symposium, February 23, 2002. Available at arXiv.org/abs/astro-ph/0002442

Flash! The Hunt for the Biggest Explosions in the Universe. Govett Schilling. Cambridge University Press, 2002. More information can be found at Robert C. Duncan's Web site: solomon.as.utexas.edu/magnetar.html

Scientific American, February 2003

وفي منتصف التسعينات، اقترح «طومسون» و «دانكن» أن بإمكان نموذج المكنتار أن يفسر أيضاً نباضات الأشعة السينية الشاذة (AXPs)، وهي نوع من النجوم التي تشبه نجوم SGRs في أوجه عدة. كانت الصعوبة الوحيدة التي واجهت هذه الفكرة أننا لم نشاهد انفجارات من هذه المصادر. لكن «M.V.» كاسبي و«P.F.» كالفريل [من جامعة ماكجيل] و«M.P.» وودز [من المركز الوطني للفضاء، والتقانة بمدينة هانتسفل] تمكنوا حديثاً من رصد انبثاقات من مصدرين من النباضات السبعة AXP's المعروفة. أحد هذه النجوم مقترن ببقايا مستعر أعظم حديث في كوكبة ذات الكرسي cassiopeia.

هناك نباض AXP آخر في الكوكبة نفسها هو أول مرشح ليكون مكنتاراً ورصد نشاطه في الضوء المرئي. لقد لاحظ ذلك قبل ثلاث سنوات «P.» هولمان و«M.» فان كيركوك [من جامعة أوترخت بهولندا] بالتعاون مع «Sh.» كولكرني. ومنذ ذلك الحين، يقوم «H.» كيرن و«C.» مارتنز [من معهد كاليفورنيا للتقانة] برصد سطوع هذا النجم في الضوء المرئي. وعلى الرغم من خفوت ضوئه إلى حد بعيد، فإنه ينبض في الضوء المرئي بنفس دور الأشعة السينية المنبعثة من هذا النجم النثروني. تدعم هذه الأرصاد فكرة أن هذا النجم هو حقاً مكنتار. ويتنبأ البديل الرئيسي لنموذج المكنتار - أي إن النباضات AXP's نجوم نثرونية عادية محاطة بأقراص من المادة - بكمية مفرطة من الإشعاعات المرئية وتحت الحمراء ذات نبضات ضعيفة جداً.

وعلى ضوء هذه الاكتشافات الحديثة والهدوء الظاهري للمكنتار الكامن في السحابة الماجلانية الكبيرة طوال عشرين عاماً تقريباً، يبدو أن المكنتارات قادرة على أن تغير رداها لتبقى ساكنة سنين أو عقوداً قبل أن تمر بفترات مفاجئة من النشاط المفرط. ويحتاج بعض الفلكيين في أن النباضات من النوع AXP's أصغر عمراً في المتوسط من النجوم SGR's، لكن هذا الأمر لا يزال محل جدل. فإذا كان كلاهما من نوع المكنتار، فمن المقبول أن تكون هذه النجوم جزءاً جوهرياً من مجموع النجوم النثرونية في الكون.

تعتبر قصة المكنتار تذكراً واقعية لنا بأن الإنسان مازال يجهل الكثير عن الكون. فحتى الآن، لم تكتشف سوى قلة من المكنتارات من بين عدد لا نهائي من النجوم. تُعلن هذه النجوم عن نفسها خلال جزء من الثانية، وفي ضوء لا تستطيع رصده إلا أشد المقاريب تطوراً وتعقيداً. وخلال عشرة آلاف عام، ستفنى الحقول المغنطيسية للمكنتارات وتتوقف عن إصدار الأشعة السينية الساطعة. لذا فيهدء الستة المعروفة من المكنتارات تُفنى سر وجود أكثر من مليون، وربما مئة مليون مكنتار قديم، انطفأ توهجها قبل زمن طويل، وتضوب هذه العوالم الغريبة من المكنتارات الخاسدة المعتمة الفضاء البينجمي. تُرى كم من الظواهر الكونية الأخرى الشديدة الندرة والسريعة الزوال، التي لم نعرفها بعد، تتوارى عنا في ذلك الفضاء؟ ■

داخل دماغ إنسان ذاكرته خارقة^(١)

يمتلك «كيم بيك» واحدة من أعجب الذاكرات التي عُرفت حتى الآن.
وقبل أن نتمكن من تفسير إمكاناته، لا يمكننا أن ندعي فهمنا المعرفة البشرية.

A.D.، ترفيرت - «D.D. كرسستسن»

تمتد ذاكرة «كيم» لتشمل ما لا يقل عن 15 موضوعا تتناول فيما تتناول تاريخ العالم، تاريخ أمريكا، الرياضيات، الأفلام، السينمائية، الجغرافيا، برامج الفضاء، الممثلين والممثلات، الإنجيل وتاريخ الكنيسة، الأدب، شكسبير، والموسيقى الكلاسيكية. إنه يعرف كودات المناطق والكودات البردية في الولايات المتحدة إلى جانب محطات التلفزة التي تغطي هذه المواضيع. إنه يعرف كذلك الخرائط الموجودة في مقدمات أدلة الهاتف ويستطيع أن يروي تعليمات السفر كذلك التي ترد في موقعياهو Yahoo بالنسبة إلى أي مدينة في الولايات المتحدة أو بين كل مدينتين. إنه يستطيع تمييز مئات المؤلفات الموسيقية الكلاسيكية وزمان ومكان نظمها وتنفيذها لأول مرة، وكذلك اسم من نظمها والعديد من تفاصيل سيرهم الذاتية، وحتى مناقشة المكونات التخمية والمنهجية للقطع الموسيقية. ولعل ما هو أكثر إثارة أنه حاليا أخذ على ما يبدو تطوير مهارة جديدة في منتصف العمر، فبينما كان من قبل يستطيع مجرد التحدث في الموسيقى، فإنه في السنتين الماضيتين أخذ يتعلم عزفها.

إن هذا إنجاز مذهل في ضوء مشكلاته الخلقية الشديدة، التي تعد خصائص يتشارك فيها بدرجات متفاوتة جميع أصحاب الذاكرات الخارقة. فهو يعيش مشية مائلة ولا يستطيع أن يزرر ثيابه ولا أن يتدبر أعماله الروتينية اليومية، كما يلاقي صعوبات في التجريد abstraction. وفي مقابل هذه العاهات، فإن مواهبه، التي تتفوق على نحو استثنائي، على مثيلاتها لدى أي شخص، تشرق أيّ ما إشراق. وتفسير الطريقة التي يؤدي بها «كيم» أفعاله قد توضع بصورة أفضل لم تحدث مهارات معينة (بما في ذلك تلك المهارة الغامضة المعتادة في حساب المفكرة calendar calculating التي تصحب على الدوام الذاكرة الضخمة) بمثل هذا الانتظام بين أصحاب الذاكرات الخارقة. ومؤخرا، حينما قال له شخص كان قد أجرى مقابلة معه بأنه ولد في 1956/3/31، قال له «كيم» في أقل من

يوم وصف «ل.ل. داوون» متلازمة الذاكرة الخارقة savant syndrome في عام 1887 وأعطاهما اسمها ولاحظ ارتباطها بقدرات مذهلة في الذاكرة، استشهد بمرضى استطاع سرد نص إدوارد <٢>. كيبون<٣> حول «أقول الإمبراطورية الرومانية وسقوطها»، ومنذ ذلك جرى ربط هذه الذاكرة الخارقة بأحد المجالات مثل الموسيقى أو الفن أو الرياضيات. ولكن هذه الذاكرة الاستثنائية هي نفسها مهارة رجل عمره أربع وخمسون سنة يدعى «كيم بيك» ويدعو أصدقائه «كيم - بيوتر»^(٤).

يستطيع «كيم» في الواقع، أن يستحضر فعلا من مكتبته الذهنية بسرعة تعادل سرعة استحضار ماكينة البحث عن المعلومة في الإنترنت. لقد قرأ كتاب <٥>. كلانسي بعنوان The hunt for red October في ساعة وخمس وعشرين دقيقة. ولدى سؤاله بعد ذلك بأربعة أشهر، أعطى اسم مشغل الراديو الروسي المذكور في الكتاب مشبرا إلى الصفحة التي تصف ذلك الشخص ومقتبسا منه بضع فقرات بنصها الحرفي. لقد بدا «كيم» يتذكر الكتب وهو في عمر الثمانية عشر شهرا بالنص الذي تُرعى له. وقد تعلم تسعة آلاف كتاب عن ظهر قلب حتى الآن. إنه يقرأ صفحة في ثماني ثوان إلى عشر ويضع الكتاب مقلوبا رأسا على عقب في رفوف المكتبة للدلالة على استظهاره إياها في سواقته hard drive العقلية.

نظرة إجمالية/ قمم بيك^(٦)

- تسري قوى ذاكرة هائلة في كل نظاهرة معروفة لمهارة ترتبط بمتلازمة الذاكرة الخارقة. وفي حالة «كيم بيك» فإن الذاكرة هي بعد ذاتها المهارة.
- يبدي دماغ «كيم» عدة شذوئات، بما في ذلك غياب الجسم اللغني. ويبقى ذلك الشذوذ الخاص في حالة «كيم» بحاجة إلى تفسير، ولكنه يثير سؤالا ثثيره المهارات المرتبطة بتلك المتلازمة وبفاد: هل يتنبه العقل الدماغي تقاميا معاوضا في منطقة أخرى من الدماغ، أم إنه يتيح فقط بروز قدرات كامنة كانت حاججة؟
- لقد تطور لاحقا تعلم «كيم» عن ظهر قلب إلى شكل من التفكير

الترابطي ذي دلالة واضحة على الإبداع. ومن ثم ساعده نجاحه على أن يخطو في العالم الأوسع. ويستنتج المؤلفان أن مهارات متلازمة الذاكرة الخارقة لا يجوز أبدا إغفالها، بل يجب تنميتها لصالح النمو الفكري والاجتماعي للفريض.

(١) العنوان الأصلي: INSIDE THE MIND OF A SAVANT فهذا التغيير في العنوان الأصلي أصلاه مضمون المقالة. وجدير بالذكر أن المترجمات الإنكليزية لكلمة savant هي: scholar, learned man, giant of learning, colossus of knowledge, mine of information, walking encyclopedia.
(٢) Overview | Peak's Peaks (٤) Kim/Peter (١)



«كيد بيته» والفا امام صورة لدماغه.

تقودنا الناحية النظرية في اتجاه واحد وهو كون دماغ «كيم» يبدى شذوذات في نصف الكرة المخية الأيسر، وهذا نموذج يلاحظ لدى العديد من أصحاب الذاكرات الخارقة. وأكثر من ذلك، فقد اعتبر عُطْلُ النصف المخي الأيسر تفسيراً لكن الذكور أكثر احتمالاً من الإناث ليس فقط لامتلاك ذاكرات خارقة وإنما أيضاً لإظهار خلل القراءة dyslexia والتأتأة stuttering وتأخر النطق والذاتوية (التوحد) autism. وتتضمن الآلية المقترحة لذلك منحنيين اثنين أولهما امتلاك الأجنة الذكورية مستوى عالياً من التستوستيرون الجوال في الدم بحيث تكون سامة لنسج الدماغ المتنامية، والآخر أن النصف المخي الأيسر يتنامى بشكل أبطأ من نمو النصف المخي الأيمن فيبقى لذلك عطوباً مدة أطول. وكذلك تؤيد دور أذية النصف المخي الأيسر حالات متلازمة الذاكرة الخارقة المكتسبة acquired savant syndrome التي ذكرتها تقارير عديدة حول الظهور المفاجئ لذاكرات خارقة لدى أطفال كبار وبالغين عقب إصابتهم بأذية في نصف الكرة المخية الأيسر.

ماذا يعني هذا الدليل ضمنيًا؟ شدة إمكانية بأن النصف المخي الأيسر حينما لا يستطيع أن يعمل كما ينبغي، يقوم النصف المخي الأيمن بالتعويض عنه عبر مهارات جديدة، ربما عن طريق تجنيد نُسج دماغية تكون في الحالة السوية معدة لأغراض أخرى وشدة إمكانية أخرى تتمثل في أن عطل النصف المخي الأيسر يكشف مهارات كانت كامنة في النصف المخي الأيمن طوال الوقت، وهي ظاهرة دماغا البعض بالتححرر من «مطيغان» النصف المخي الأيسر المهيمن

ثانية؛ إن ذلك كان في يوم السبت من نهاية أسبوع عيد الفصح تبدي دراسات تصوير دماغ «كيم» المأخوذة حتى الآن شذوذاً بنويها كبيراً (انظر الإطار في الصفحة 63). ولكن لا يمكن حتى اليوم الربط المباشر بين هذه المكتشفات وأي من مهارات «كيم»؛ وذلك البحث قد بدا للتو. ولكن، قد تستطيع تقنيات جديدة للتصوير تتناول وظائف الدماغ (بدلاً من بنيتها فقط) أن توفر لنا فيها أفضل في هذا الصدد. وفي هذه الأثناء، نعتقد أن توثيق الأشياء المهمة التي يفعلها «كيم» أمر جدير بالاهتمام؛ إذ ليس من السهل العثور على أناس مثله ممن يفقدنا أن نسجل خاصياتهم لصالح الأبحاث المستقبلية. هذا ويفتح موضوع الذاكرات الخارقة نافذة فريدة داخل العقل. فإذا لم تتمكن من تفسيره، فلن تتمكن من ادعاء فهم تام لكيفية عمل الدماغ.

دماغ غير عادي

ولد كيم في 1951/11/11 (وكان ذلك يوم أحد حسبما يقول). كان رأسه كبيراً وفي فقاها قيلةً دماغية encephalocete (أو بثرة بحجم اليبسبول) تحللت تلقائياً. ولكن وجدت لديه أيضاً شذوذات دماغية أخرى تتضمن مضيخاً مشوهاً. وقد قام أحدنا (كرستسن) بعمل المسوح الأولية لدماغ «كيم» في عام 1988، ثم تابع تقدمه منذ ذلك الحين.

يمكن أن تُلعل النتائج المخيعة مشكلات «كيم» المتعلقة بالتنسيق والحركية mobility. ولكن الأكثر لفتاً للانتباه هو غياب الجسم الثفني corpus callosum الذي يشكل تلك السويقة الكبيرة من النسيج العصبي التي تربط في الحالة السوية بين نصفي الكرة المخية الأيمن والأيسر، إننا لا نعرف ماذا يترتب على هذا العيب؛ لأنه، على ندرته، لا يترافق باضطرابات وظيفية. فقد وجد من الناس من افتقد هذه البنية من دون أن يعاني أي مشكلات يمكن الكشف عنها. ولكن مع ذلك فإن من أجريت لهم عملية شق للجسم الثفني في كهولتهم (يقصد محاولة منع انتشار نويات الصرع من أحد النصفين المخيين إلى النصف الآخر) تنشأ لديهم متلازمة مميزة للدماغ المشطور يبدأ فيها نصفا الكرة المخية المنفصلان بالعمل مستقلين تقريباً أحدهما عن الآخر.

قد يبدو أن أولئك الذين يولدون من دون جسم ثفني يطوِّرون تغييرات اتصال بين نصفي الكرة المخية. وربما كانت هذه البنى الحاصلة تتيح للنصفين المخيين أن يعملوا في نواح معينة وكأنهما نصف مخي واحد عملاق يضم تحت سقف واحد وظائف كانت منفصلة. فإذا كان الأمر كذلك، فإن «كيم» قد يدين ببعض مواهبه إلى هذا الشذوذ الخاص. وفي جميع الأحوال، فإن حقيقة كون بعض الناس الفاقدين للجسم الثفني لا يبدون شذوذات فيما يتمتع آخرون بذاكرات خارقة، إنما تجعل وظيفة الجسم الثفني أقل وضوحاً عما كان يعتقد. ويتندر علماء الأعصاب بأن وتقليدياً الجسم الثفني الوحيدتين تقتصران على نشر نويات الصرع وضم الدماغ بعضه إلى بعض.



«كيم» وهو يقرأ صفحة في غضون ثلثاني ثوانٍ إلى عشر، وفي الوقت نفسه مستظفرا إياها عن ظهر قلب، وتتضمن مكتبته الذهنية ذات التسعة آلاف كتاب تغطية موسوعية لكل شيء من «شكسبير» وصولاً إلى المحدثين الموسيقيين، ثم إلى خزانة جميع المدن الرئيسية في الولايات المتحدة.

لقد خضع «كيم» لاختبار نفساني في عام 1988. وقد كان «نسبة الذكاء» «IQ» لديه 87. ولكن الاختبارات الفرعية اللفظية والأدائية لهذه النسبة تفاوتت كثيراً، إذ وقعت بعض نسب الذكاء في المدى الأعلى للذكاء، ووقع بعضها الآخر في مدى المعوقين عقلياً. ولذلك خلص التقرير النفساني إلى أن «تصنيف نسبة الذكاء لدى «كيم» لا يشكل وصفاً صحيحاً لقدرته الفكرية». والنقاش حول الذكاء العام general intelligence مقابل الذكاءات المتعددة multiple intelligencies يحتمد أواره في علم النفس. وإننا نعتقد أن حالة «كيم» هذه تناصر ما خلص إليه ذلك التقرير النفساني. لقد وُصف التشخيص الإجمالي حالة «كيم» بأنها «حالة اضطراب في التشكل والنمو ليس إلا» وتخلو من أي تشخيص لاضطراب ذاتوي (توحدي) autistic. وبالفعل، فمع أن الذاتية غالباً ما تتراعى بمتلازمة الذاكرة الخارقة أكثر من أي اضطراب وحيد بعينه، فإن أكثر من نصف عدد الذين تظهر لديهم هذه المتلازمة هم ذاتيون، ولكن على العكس من الذاتيين، فإن «كيم» شخص صدوق ووسيم. ولعل أحد الأمور التي لا تبدو ضرورية للتنامي الكامل لمهارات متلازمة الذاكرة الخارقة هو الانكباب القوي على مادة الموضوع ذي الصلة.

الذاكرة والموسيقى^(١١)

في حالة «كيم»، بدأت جميع اهتماماته باستظهار فطري، ولكنها تقدمت لاحقاً إلى ما هو أكثر من ذلك. ومع أن «كيم» لا يمتلك سوى مقدرة محدودة على التجريد أو التفكير المفاهيمي (إذ إنه لا يستطيع على سبيل المثال أن يشرح العديد من الأمثال العادية)، فإنه يفهم فعلاً الكثير من المواد التي استودعها في ذاكرته. وتعد هذه الدرجة من الفهم غير عادية بين من لديه متلازمة الذاكرة الخارقة، وقد

صاغ «داون»^(١٢) نفسه عبارة الالتصاق اللفظي verbal adhesion كوصف لقدرة مريض متلازمة الذاكرة الخارقة على تذكر كميات هائلة من الكلمات من دون أن يفهمها. وقد أبرزت ذلك «سارة باركر» (وهي طالبة في علم النفس بجامعة بنسلفانيا) على نحو زاح في وصفها أحد هؤلاء المرضى يدعى «كوردون» قائلة: «إن امتلاك ترساة طوب لا يجعل منها عمارة من الحجر» أما «كيم» فإنه لا يمتلك ترساة كبيرة من الطوب فحسب، بل أصبح أيضاً عمارة مفردات مبدعة وجامعة للفتون ضمن ساحات مهارته.

أحياناً تكون ردود «كيم» على الأسئلة أو التوجيهات حصرية وحرافية تماماً. فحينما طلب إليه والدّه ذات مرة في أحد المطاعم أن يخفض صوته، انزلق منخفضاً في كرسيه وبذلك خفّض صندوق صوته. وفي حالات أخرى قد تبدو أجوبته المعية تماماً. ففي أحد أحاديثه أجاب عن سؤال حول خطاب ألفاه «أبراهام لنكولن» في عام 1863 بخصوص معركة جيتسبيرج بقوله: «في دار ويلز's will's house، 227 شارع نورث وست فرونت، ولكنه مكث هناك ليلة واحدة. لقد ألقى خطابه في اليوم التالي». لم يقصد «كيم» النكتة، ولكن حينما رأى سائله يضحك أدرك النقطة، وأخذ منذئذ يكرر القصة بقصد وتأثير مرحين.

لكن «كيم» يمتلك قوة لا تقبل الجدل على إقامة ترابطات ذكية. ففي أحد الأيام حضر احتفالاً يخص شكسبير رعاه فاعل خير سخي بالأحرف الأولى من اسمه «O.C.»، وقد حال مرض هذا الأخير بالتهاب الحنجرة دون قيامه بالإعراب عن امتنانه لتكريمه، وهنا بادر «كيم» المحب لشكسبير والمولع مثله بالقورية punster إلى القول مازحاً: «هيا «O.C.»، ألا يمكنك قول ذلك؟»

إن مثل هذا الاستخدام الخلاق لمادة كانت قد استظهرت أصلاً على السجية، يمكن أن ينظر إليه كمكافئ لفظي لارتجال موسيقار فمثلاً هي حال الموسيقي، يفكر «كيم» بسرعة تبلغ حد صعوبة مجازة ترابطاته المعقدة. فهو يتقدّم على جمهوره خطوتين أو ثلاث خطى في استجاباته.

ومؤخراً تجلّى بُعد جديد مذهل إلى حد ما في مهارات متلازمة الذاكرة الخارقة لدى «كيم». ففي عام 2002 قابل «كيم» مديرة المكتبة الموسيقية McKay وأستاذة الموسيقى في جامعة يوتا، «أ. كرينان»، وسرعان ما بدأ يفضل مساعدتها يعزف على البيانو ويحسن حوار صياغاته الموسيقية يعزف فقرات منها عارضاً على لوحة مفاتيح البيانو عدة قطع استذكرها من مكتبته الذهنية الضخمة. ونشير إلى أن «كيم» يمتلك ذاكرة طويلة الأمد لطبقة الصوت، إذ يتذكر مستوى الطبقة الأصلية لكل قطعة موسيقية.

يمتلك «كيم» معرفة تامة بأجهزة أوركسترا السمفونية التقليدية ويحدد بسرعة طابع (جرس) أي مقطوعة الألتية instrumental. فعلى سبيل المثال، قدّم «كيم» النغم الافتتاحي لقصيدة أوركسترا «جديش

(١٠) Memory and Music

(١١) Intelligence Quotient نسبة الذكاء.

(١٢) الطبيب (J. L. Down) أول من وصف أعراض المتلازمة السمية باسمه [انظر: أسباب متلازمة «داون»، «الطبيب» - العدد 4 (1988)، ص 37]. (التحرير)

هل هو اتصال مفقود؟

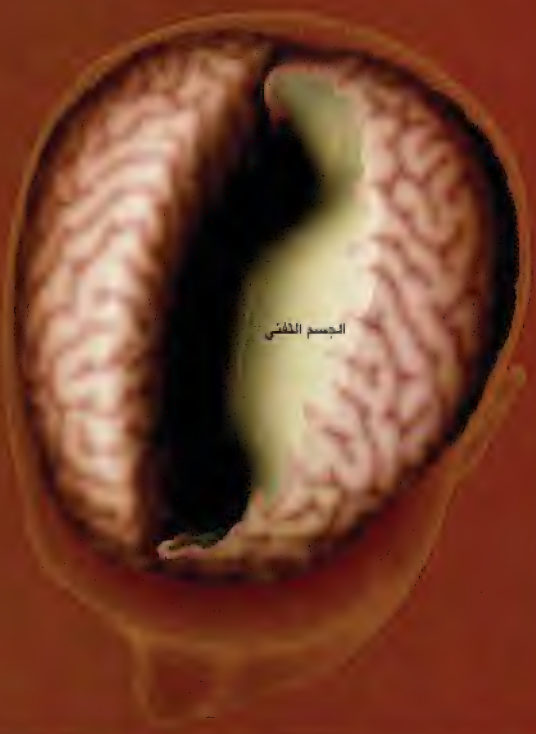
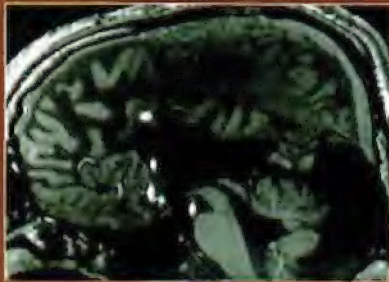
يختلف دماغ «كيم» (الصورة اليسرى في الأسفل) عن الإدمغة النمطية (المخطط والصورة اليسرى في الأعلى) في عدة نواح. إتصور المسوح أدناه مقاطع عرضية من الأمام إلى الخلف جرى إعدادها باستخدام التصوير الرنيني (الجاووبي) المغنطيسي. ويلاحظ أن دماغ «كيم» ورأسه كبيران، كل منهما في المئيني¹ ال90. وأكثر ما تلفت النظر هو الغياب الكامل للجسم الشفني الذي يربط في العادة النصفين المخيين

اليمين واليسار أحدهما بالآخر. كما يغيب اللتئبان commissures الأمامي والخلفي اللذان يربطان أيضا بين النصفين للمخيين ذاتهما. أما المخيخ المسؤول عن وظائف حركية معينة فهو لدى «كيم» أصغر من المعتاد، إضافة إلى كونه مشوها ويشغل سائل مخلف الحيز المحيط به، الأمر الذي يفسر بعض صعوبات «كيم» في التنسيق الحركي. فموضوع البحث والحالة هذه يتعلق بدور هذه الشذوذات في قدراته العقلية.

دماغ سوي



دماغ «كيم» بيته



بقدمه اليميني أثناء العزف.

تسجل «كرينان» (تلميذة موسيقى حوزارت) الملاحظات التالية بقولها: «إن إلمام «كيم» بالموسيقى كبير. وتعد قدرته على تذكر أي تفاصيل تخص قصيدة ما كان قد سمعها (ولو مرة واحدة فيما ينوف على أربعين سنة خلت) أمرا مذهلا. أما الترابطات التي يقيمها بين الحبيكات weaves عبر القصائد، وكذلك سير حياة اللحنين، والحوادث التاريخية، والرافقات الصوتية للأفلام السينمائية، وآلاف الحقائق التي تحتزنها قاعدة بياناته، فإنها تكشف عن مقدرة عقلية هائلة.» ويصل الأمر بالباحثة «كرينان» أن تقارن بينه وبين «حوزارت» الذي كان يمتلك رأسا كبير المصم كذلك، وشغفه بالأعداد وبمهارات اجتماعية متفاوتة. وليس عجبا، حسب «كرينان»، أن يكون باستماعة «كيم» أن يتعلم حتى التلحين.

سامانتا» التي تحمل اسم «مولداو» The Moldau عبر تخفيض أدوار الناي flute والمزمار clarinet على نحو متصاعد الإيقاع بيده اليسرى وإظهار أن الشبابات والمزامير تتداخل مع اللازمة الرئيسية التي خفّضها بعدئذ إلى طبقات pitches يتم عزفها على نحو منفرد في ثلاثيات باستخدام يده اليميني. هذا ويتبين استيعابه للأساليب الموسيقية في قدرته على تحديد أسماء ملحنين قطع موسيقية لم يسبق له سماعها سابقا وذلك عن طريق تخمين الفن الموسيقي للقطعة واستنباط هوية الملحن الممكن.

ومع أن «كيم» مازال أخرق من الناحية البدنية، فإن إتقانه اليدوي في تحسن مستمر. فحينما يجلس إلى البيانو، يمكنه عزف القطعة التي يرغب في تناولها، فيغني المقطوعة ذات الشن أو يصف الموسيقى لفظيا ويتحول انسايابا عن صيغة إلى أخرى. إنه ينتبه إلى الإيقاع ويدق بخفة على صدره بيده اليميني أو يدق الأرض برتابة

مقابل صوتي للثقوب السوداء^(١)

تسلك الموجات الصوتية المنتشرة في مائع سلوك الموجات الضوئية المنتشرة في الفضاء. وحتى الثقوب السوداء لها ما يقابلها صوتيا. أفلا يمكن للزمكان *space-time* أن يكون نوعا خاصا من الموائع مثل الأثير في فيزياء ما قبل أينشتاين؟

A. T., جاكربوس^(٢) - B., بارينتاين^(٣)

من بُعد، تبدو المادة الكثيفة مستمرة مثل الزمكان عندما ينظر إليه في المقاييس الكبيرة، ولكنها على خلاف الأخير لها بنية مجهرية يتحكم فيها الميكانيك الكمومي ونفهمها بشكل جيد. إضافة إلى ذلك وإلى حد كبير، يمثل انتشار الصوت في مائع هائج انتشار الضوء في زمكان منحني، وما نحاوله وزملاؤنا، عبر استخدامنا للموجات الصوتية لدراسة نموذج للثقوب السوداء، هو استغلال هذا التماثل من أجل اكتساب بصيرة خلقة وفهم أعمق لكيفية عمل بنية الزمكان الميكروية. ويوحى عطلنا بأن بنية الزمكان، حاله في ذلك حال مائع مادي، قد تكون حبيبية وذات إطار مرجعي^(٤) مفضل يظهر نفسه عند المقاييس الصغيرة، وذلك على خلاف فرضيات «أينشتاين».

من الثقب الأسود

إلى الجمرة الساخنة^(٥)

تعتبر الثقوب السوداء حقل تجارب ممتازا لاختبار نظريات الثقالة الكمومية، لأنها تمثل أحد الأمكنة النادرة التي نحتاج فيها إلى استخدام كلتا نظريتي الميكانيك الكمومي والتسبية العامة لفهم كيفية عملها. وقد تحققت خطوة كبيرة نحو توحيد

الثلاث هذه (التسبية الخاصة والعامة والميكانيك الكمومي). ومع ذلك، يواجه الفيزيائيون مسألة مفاهيمية عميقة. إن نظريتي التسبية العامة والميكانيك الكمومي، كما نفهمهما اليوم، لا تتسجم إحداهما مع الأخرى. ويات بالفشل جميع محاولات العلماء لدمج الثقالة gravity التي تعزوها النسبية العامة إلى انحناء^(٦) curvature الزمكان، ضمن الإطار الكمومي. وقد حقق النظريون تقدما ضئيلا في فهم بنية الزمكان الشديدة الانحناء التي يتنبأ بها الميكانيك الكمومي عند مسافات متناهية في الصغر. وقادهم ما انتابهم من شعور بالإحباط إلى التماس الإرشاد في مجال غير متوقع: إنه مجال فيزياء المادة الكثيفة التي تدرس خواص المواد العادية مثل البلورات والموائع.

عندما اقترح A. أينشتاين^(٧) نظرية النسبية الخاصة عام 1905، ألقي جانباً بالفكرة التي كانت سائدة في القرن التاسع عشر والقائلة بأن الضوء ناجم عن اهتزازات في وسط افتراضي يسمى الأثير. وبدلاً من ذلك، قدم «أينشتاين» الدليل على أن الموجات الضوئية يمكن أن تنتقل في الفراغ دون حاجة إلى وجود أي مادة - على خلاف الموجات الصوتية التي تنجم عن اهتزازات في الوسط المادي الذي تنتشر فيه. وهذا الجانب من التسبية الخاصة لم يمس في الركبتين الآخرين للفيزياء الحديثة، النسبية العامة والميكانيك الكمومي، ويمكن بنجاح تفسير جميع البيانات التجريبية التي لدينا حتى الآن، والتي تغطي مجالا واسعا من المقاييس يمتد من المقاييس ما دون النووية إلى المقاييس الفلكية، وذلك من خلال النظريات

نظرة إجمالية/ الثقوب السوداء الصوتية^(٨)

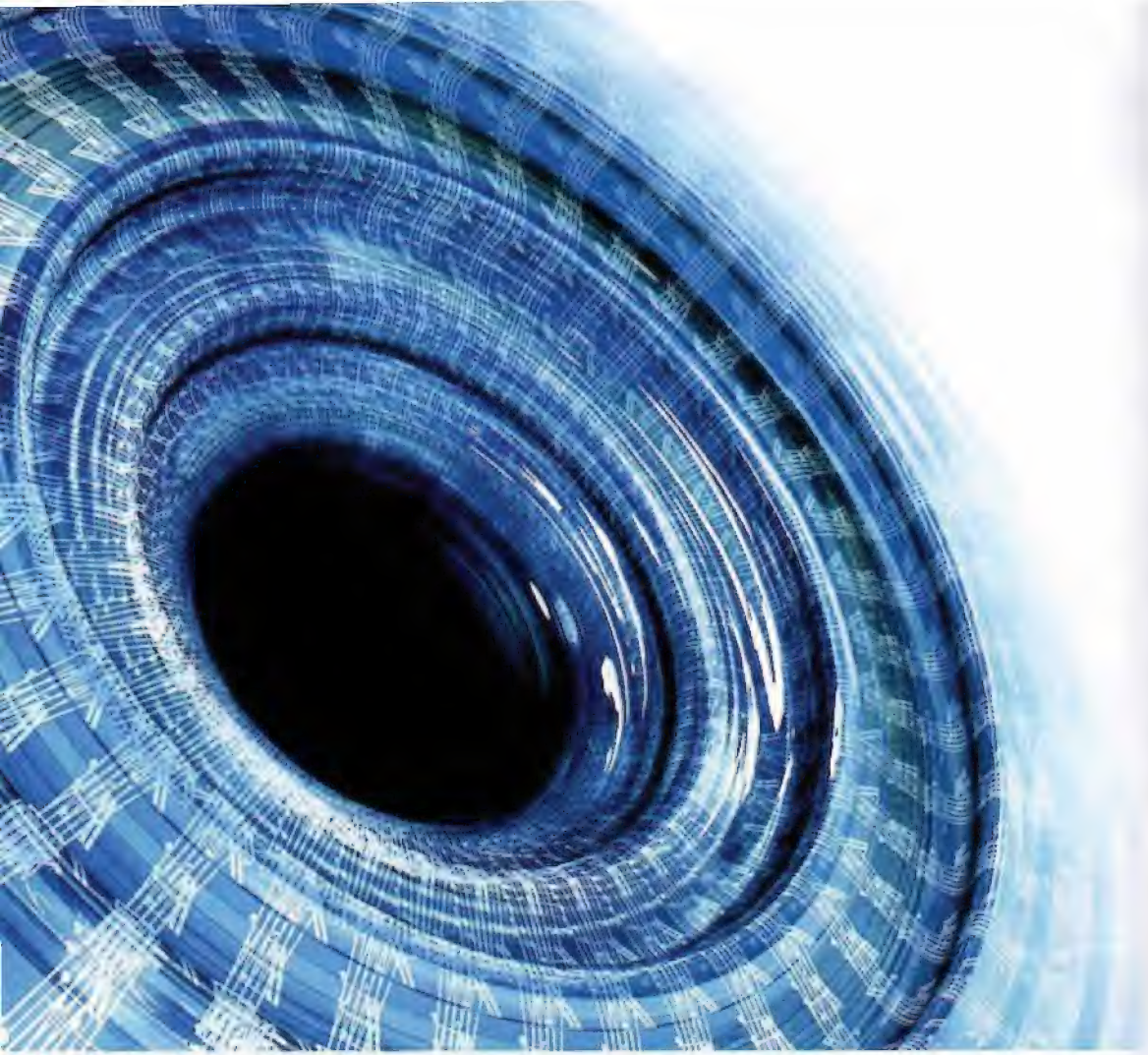
- قدم الفيزيائي الشهير S. هوكينغ عام 1970 الدليل على أن الثقوب السوداء ليست سوداء تماما، لأنها تصدر وهجا كموميا لإشعاع حراري. ولكن هناك مشكلة في تحليل هوكنك تلخص في أن الموجات التي تبدأ عند أفق الثقب الأسود سوف تمتد وفقا للنظرية النسبية، وسوف يزيد طولها بمقدار لا متناه في الكبر عندما تنتشر بعيدا عن الثقب. لذلك، يجب أن يصدر إشعاع هوكنك من منطقة غاية في الصغر، حيث تهيم ظواهر الثقالة الكمومية.
- حاول الفيزيائيون الإلمام بكنه هذه المسألة عبر دراستهم نماذج لمنظومات موائع شبيهة بالثقوب السوداء. تمنح البنية الجزئية للمائع الامتصاص والامتصاصات وتشتت عن الغراب الميكروية للزمكان بغيرياء معروفة.
- تؤيد النماذج المشابهة هذه استنتاج هوكنك وتدفع بعض الباحثين إلى اقتراح فكرة أن للزمكان بنية «جزئية»، وذلك خلافا لفرضيات النظرية التسبية المتعارفة.

(١) AN ECHO OF BLACK HOLES
(٢) Overview/Acoustic Black Holes
(٣) From Black Hole to Hot Coal

(٤) نحن من زمان-مكان.

(٥) أو تقوس.

(٦) frame of reference



الأرضية GPS أن تأخذ ذلك في الاعتبار عند تحديد دقيق لموقع ما، مع ذلك، ما هو مميز للثقوب السوداء هو أن هذا الانزياح نحو الأحمر يبلغ قيمة لامتناهية في الكبر عندما يقترب المسافر من أفق الثقب الأسود. ومن وجهة نظر المراقب، يبدو الهبوط وكأنه يستغرق زمناً لامتناهياً في الكبر، مع أن هذا الهبوط نفسه يستغرق وقتاً محدوداً بالنسبة إلى المسافر نفسه.

وحتى الآن، تمت معالجة الضوء في وصفنا للثقوب السوداء على أساس اعتباره موجة كهرومغناطيسية تقليدية. وما فعله «هوكينغ» هو إعادة تحليل مقتضيات القيمة

الخارجي في تسلمه إشارات المسافرين على تلك التي أرسلوها قبل اجتيازهم للأفق، إذ إن الموجات الضوئية عند تسلقها لبئر الثقالة المحيطة بالثقب الأسود تمتد فينقص تواترها ويزيد دورها، ونتيجة لذلك، سيبدو المسافر بالنسبة إلى المراقب متحركاً حركة بطيئة وأكثر احمراراً من العادة.

يُعرف هذا الأثر بالانزياح الثقالي نحو الأحمر^(١)، وهو ليس خاصية مميزة للثقوب السوداء وحدها. فمثلاً، يسبب هذا الأثر أيضاً تغير التواتر والزمن الفاصل بين الإشارات الصادرة عن الأقمار الصناعية الدائرة حول الأرض وعن محطاتها الأرضية، وعلى منظومات تحديد المواقع على الكرة

النظويتين عام 1974 عندما طبق «هوكينغ» [من جامعة كامبردج] الميكانيك الكمومي على دراسة أفق حدث^(٢) الثقب الأسود.

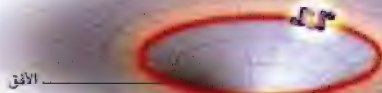
ورفقا للنسبية العامة، يمثل أفق حدث الثقب الأسود السطح الفاصل بين داخل الثقب (حيث الثقالة كبيرة جداً بحيث لا يستطيع أي شيء الإفلات منها) وخارجها. وهذا الفاصل ليس مادياً، فالمسافرون السيئ الحظ لن يشعروا بأي شيء خاص عند اجتيازهم هذا الفاصل أثناء سقوطهم نحو الثقب الأسود، ولكنهم إذا فعلوا ذلك فلن يكونوا قادرين على إرسال إشارات ضوئية إلى أناس خارج الثقب، فكيف إذاً بالانتقال والعودة للخارج. وسيقتصر المراقب

(١) the event horizon
(٢) gravitational redshift

هل كان هوكنك على خطأ؟

يتعلق واحد من أهم أسرار الثقوب السوداء وأقلها اعترافاً به، بتخمين هوكنك المشهور حول إمكان إصدار الثقب الأسود لإشعاع. يُحدد الثقب الأسود باقٍ حدث يمكن اعتباره بوابة في اتجاه واحد، حيث يمكن للأجسام خارجه أن تسقط إلى داخله، في حين لا يمكن خروج الأجسام من داخله. وقد تسأل هوكنك عما سيحدث لزواج من الجسيمات الافتراضية (التي تظهر وتختفي باستمرار في كل مكان من الفضاء الخالي بسبب الآثار الكمومية) نشأ عند الأفق نفسه.

يظهر زوج من الفوتونات الافتراضية عند الأفق بسبب الآثار الكمومية



يستقل فوتون واحد للداخل في حين يسقط الآخر بعيداً. يتحول الفوتونان عبر هذه العملية من فوتونين افتراضيين إلى فوتونين حقيقيين



تعمل الثقالة على مطّ الفوتون الصادر



تنبأ النظرية النسبية بأن الفوتون الصادر عن الأفق سوف يمتدّ بمقدار لامتناه في الكبر (الخط الأحمر في الأسفل). لا بد لفوتون تتم ملاحظته أن يكون قد نشأ كفوتون افتراضي بطول موجي معدوم تقريباً. ويعتبر هذا الأمر مسكناً مقلقة لأن الآثار الكمومية غير المعروفة تصبح هي المهيمنة عند مسافات أقصر ممّا يدعى بطول بلانك 10^{-35} متر. وقد دفع هذا اللغز الفيزيائيين إلى تخيل نماذج مشابهة للثقوب السوداء، قابلة للتحقيق تجريبياً، وذلك من أجل اختبار إمكانية إصدارها لإشعاع، وفهم كيفية نشوئه في حال صدوره.



اللامتناهية في الكبر للانزياح نحو الأحمر عند اعتبار الطبيعة الكمومية للضوء. ووفقاً للنظرية الكمومية، فإن الخلاء المثالي نفسه غير فارغ تماماً بل يبعج بهيجانات وتراوحيات ناجمة عن مبدأ الارتياح لهايزنبرك. ويمكن لهذه التموجات أن تتجسّد بشكل أزواج من الفوتونات الافتراضية والتي ندعوها كذلك، لأنها في زمكان منحني بعيداً عن أي تأثير ثقالي، تولد وتفتي بشكل مستمر ممّا يجعلها غير قابلة للملاحظة عند غياب أي اضطراب.

ولكن يمكن لقرد من زوج افتراضي، في الزمكان المنحني حول ثقب أسود، أن يجري حجزه فيلج داخل الأفق في حين يبقى الآخر خارجه. وعندها يمكن للزوج الافتراضي أن يصبح حقيقياً ما يؤدي إلى تدفق ضوء نحو الخارج يمكن ملاحظته، ويرافق ذلك نقصان في كتلة الثقب. والنمط الإجمالي للإشعاع هو حراري، مثل حال جمرة ساخنة، بدرجة حرارة متناسبة عكساً مع كتلة الثقب الأسود. تُعرف هذه الظاهرة باسم مفعول هوكنك^(١). وما لم يتسلع الثقب كتلة أو طاقة لتعويض ما يفقده، فإن مفعول هوكنك سيجعله يستنفد كامل كتلته.

ولا بد من الإشارة هنا إلى نقطة مهمة، ستصبح حاسمة لاحقاً عند اعتبار الأشياء المانعة للثقوب السوداء، وفي بقاء المكان المجاور تماماً لأفق الثقب الأسود في حالة خلاء كمومي تام تقريباً. وفي الحقيقة، يعدّ هذا الشرط أساسياً في برهان هوكنك، لأن الفوتونات الافتراضية خاصة للحالة الكمومية ذات الطاقة الأخفض، أو «الحالة الأساسية»^(٢). ويمكن للفوتونات الافتراضية أن تصبح حقيقية ولكن فقط عند انفصالها عن شركائها في الأزواج الافتراضية وتسلّقها حقلاً ثقالة بعيداً عن الأفق.

المجهر النهائي^(٣)

أدى تحليل هوكنك دوراً مركزيّاً في محاولة بناء نظرية كمومية للثقالة. وتعتبر القدرة على إعادة استنتاج مفعول هوكنك وإيضاحه اختباراً حاسماً لأي نظرية مرشحة لأن تكون نظرية ثقالة كمومية، مثل نظرية الأوتار^(٤). ومع أن معظم الفيزيائيين

Was Hawking Wrong? (١)
The Ultimate Microscope (٢)
Hawking effect (٣)
ground state (٤)

"The Illusion of Gravity" [الخطأ: string theory] (٥)

[by Juan Maldacena: Scientific American, November 2005]

الضوء مقابل الصوت^(١)

نوع الموجة	الوصف المعهود	الوصف الكمي	السرعة	سبب انحناء مسار الموجة	أين تتوقف صحة الوصف
ضوء	حقل كهربائية ومغناطيسية مهتزة	فوتون موجة كهرومغناطيسية	300 000 كم/ثا	انحناء (تقوس) الزمكان الناجم عن وجود المادة والطاقة	طول بلانك؟ (10^{-35} متر)
صوت	حركة جماعية للجزيئات	فوتون موجة صوتية	1500 م/ثا (في الماء السائل)	اختلافات في سرعة المائع وأشياء حركته	المسافة الفاصلة بين الجزيئات (10^{-10} متر من أجل الماء)

استدعاء نظرية كمومية للثقالة. لذلك، يُعدُّ افق الثقب الأسود مجهراً رائعا بامتياز يسمح للمراقب أن يكون على تماس مع ظواهر فيزيائية غير معروفة. وبالنسبة إلى الفيزيائي النظري، تُعتبر إمكانية التضخيم هذه مقلقة، إذ لو كان تنبؤ هوكنغ قائما على فيزياء غير معروفة، أفلا يحقُّ لنا الشك في صلاحيته؟ إلا يمكن لخصائص إشعاع هوكنغ، بل حتى وجوده، أن تعتمد على خصائص الزمكان الميكروية. تماما كما تعتمد، مثلاً، السعة الحرارية لمادة ما أو سرعة الصوت فيها على بنيتها الميكروية وديناميكيتها؟ أم أن هذا الأثر يتحدد تماما، كما حاجَّ هوكنغ في بداية الأمر، من خلال الخصائص الماكروية للثقب الأسود، وعلى وجه الخصوص كتلته وسبينه $spin$ ؟

لسعات صوتية^(٢)

بدأت إحدى المحاولات للإجابة عن هذه الأسئلة مع عمل <w>. أوتره [من جامعة بريتش كولومبيا]. فقد بينَ «أوتره عام 1981 أن هناك تشابها كبيرا بين انتشار الصوت في سائل متحرك وبين انتشار الضوء في زمكان منحني. واقترح أن هذا التشابه قد يفيد في تخمين أثر الفيزياء الميكروية في إشعاع هوكنغ. إضافة إلى ذلك، يمكن لهذا التشابه أن يسمح حتى بإمكانية الملاحظة التجريبية لظاهرة متضمنة لإشعاع هوكنغ. تتميز الموجات الصوتية، مثلها في ذلك مثل الموجات الضوئية، بتواترها وطولها الموجي وسرعة انتشارها. وإن مفهوم الموجة الصوتية صالح فقط من أجل أطوال موجة أكبر بكثير من المسافة بين الجزيئات في السائل، إذ تتوقف الموجات الصوتية عن الوجود عند المسافات الأقصر. إن هذا

عندما ننظر إليها وقد عدنا بالزمان إلى الوراء (أي عندما نتطلع إلى تطورها الزمني بالرجوع عبر الزمن حتى لحظة بدايتها). عندما يقترب الفوتون من الثقب فإنه يصبح أكثر ازرقاقا، أي يزيد تواتره وينقص طوله الموجي. وكلما رجعنا أكثر إلى الوراء في الزمن يقترب الفوتون أكثر من الأفق، ومن ثمَّ قُصُرَ طولُه الموجي. وعندما يصبح الطول الموجي أصغر بكثير من الثقب الأسود ينضم الجسيم الفوتوني إلى شريكه مكونا الزوج الافتراضي الذي ناقشناه مسبقا.

يستمرُّ الانزياح نحو الأزرق دون توقُّف ويمكن بلوغ مسافات صغيرة كافية^(٣). وعندما تصبح المسافة أصغر من 10^{-35} متر، أو ما يُعرف باسم طول بلانك، عندها لا يمكن للنظرية النسبية ولا للميكانيك الكمي أن يتنبأ بسلوك الجسيم، ولا بدَّ لنا هنا من

يقبلون بحجج «هوكنغ» فإنهم لم يستطيعوا قطَّ التأكد منها تجريبيا، لأن ما يتنبأ به من إصدار ضوئي عن الثقوب السوداء المجرية والنجمية أصغر بكثير ممَّا نتكَّن الآن من تحسُّسه. والأمل الوحيد في ملاحظة إشعاع هوكنغ يكمن في أن نجد ثقوبا سوداء صغيرة من بقايا الكون الموهل في القدم أو أنها كُوتت في المسرَّعات الجسيمية، وهذا احتمال قد يكون معدوما [انظر: «الثقوب السوداء الكمومية»، **الطاقة**، العددان 6/5 (2005)، ص 48].

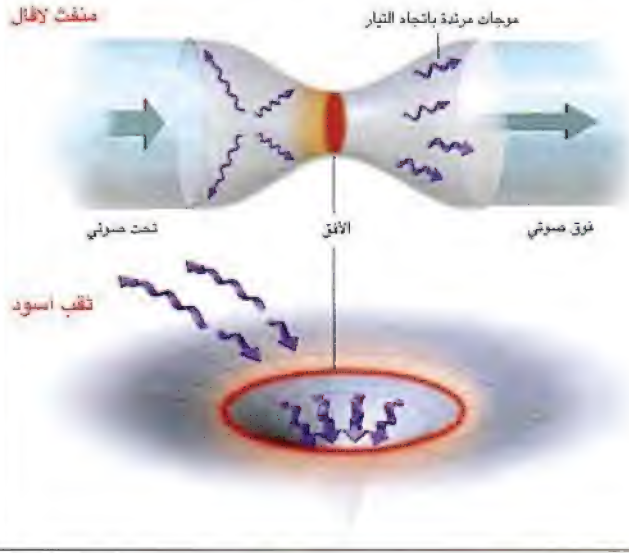
ويُعدُّ افتقارنا إلى تأكيد تجريبي عن مفعول هوكنغ أمرا مقلقا لا سيما إذا تذكرنا الحقيقة المزعجة عن وجود عيوب في بناء النظرية نفسها ناجمة عن تنبؤها بقيمة لامتناهية في الكبر لانزياح الفوتون نحو الأحمر. لتعتبر عملية الإصدار وكيف تبدو



تسلك الضموجات في مجرى مائي سلوكا مماثلا إلى حد كبير لسلوك الموجات الضوئية في الزمكان. إن الجريان حول الصخرة ليس منتظما ممَّا يسبب انحناء التموجات وتغيُّر طولها الموجي. ويحدث الأمر نفسه بالنسبة إلى ضوء ين عبر الحقل الثقالي لكوكب أو نجم. وفي بعض الحالات، يكون الجريان سريعا جدا لدرجة أن التموجات لا تستطيع الانتشار باتجاه معاكس لاتجاه الجريان تماما كالضوء، لا يمكنه الإفلات من الثقب الأسود للانتشار خارجه.

نموذج مشابه لثقب أسود^(*)

يمثل منفث لافال Laval nozzle، الذي يوجد في مؤخرة الصواريخ، نموذجاً جاهزاً مشابهاً لثقب أسود. يدخل المائع بسرعة تحت صوتية subsonic، ويجبره العائق التضيق على التسارع ليلعب سرعة الصوت بحيث يخرج هذا المائع بسرعة فوق صوتية. ويمكن للموجات الصوتية في المنطقة تحت الصوتية أن تتحرك ضد التيار، في حين لا تستطيع ذلك في المنطقة فوق الصوتية. بالتضيق إذاً يسلك سلوك أفق ثقب أسود، ومن ثم يمكن للصوت الولوج إلى المنطقة فوق الصوتية ولكنه لا يستطيع الخروج منها وتولد التراوحات والتوجّات الكمومية عند التضيق مشابهاً صوتياً لإشعاع هوكينج.



المذهب الذري^(**)

إذا كان المانع ياردا بشكل كاف فيبقى التشابه قائماً حتى على المستوى الكمومي. وقد قدّم «أورنر» حججاً على أن الأفق الصوتي يصدر فونونات حرارية ماثلة لإشعاع هوكينج. تسبّب التراوحات والفونونات، وتوجّات الكمومية قرب الأفق ظهر أزواج من الفونونات، ويجرف أحد الشريكين في زوج ما إلى المنطقة فوق الصوتية، ولأنّ يستطيع الخروج منها أبداً، بينما يكمل الشريك الآخر اهتزازاته وينتشر ضدّ التيار متعطّلاً أثناء ذلك بفعل تدفق المائع. ولو وضعنا ميكروفونا في أعلى النهر لالتقط هسهسة ضعيفة، تأتي طاقاتها الصوتية من الطاقة الحركية للمائع المتدفّق.

تعتمد النغمة المهيمنة للضجة التي نسمعها على هندسة المسألة؛ وتكون القيمة النمونية للطول الموجي للفونونات الملاحظة من مرتبة المسافة التي تتغيّر خلالها سرعة المائع بشكل محسوس. تفوق هذه المسافة إلى حد كبير المسافة الفاصلة بين الجزيئات ممّا سمح لـ«أورنر» في عمله الأصلي اعتبار المائع كلّ أملس ومتّصلاً. ومع ذلك، تتكوّن الفونونات قرب الأفق بأطوال موجية قصيرة جداً لدرجة أنها لا بد أن تتجنّس الطبيعة الحبيبية للمائع؛ هل يؤثر هذا الاعتبار في النتيجة النهائية؟ هل يمكن لمائع حقيقي إصدار فونونات على طريقة هوكينج، أم أن توقع «أورنر» نتاج صناعي ناجم عن اعتبارنا

وسرعتها. ينتشر الصوت، مثلاً في بركة سباحة ساكنة أو في نهر يجري بهدوء، بشكل مستقيم من منبعه إلى الأذن. ومع ذلك، تتغيّر سرعة الفونونات في سائل يتحرك بشكل غير منتظم، وقد تمتد أطوالها الموجية تماماً كحال الفونونات في زمان منحن، ويتشوّه الصوت المنتشر عبر نهر عند ملاقاته وأدباً ضيقاً أو عند ملاقاته لما يدور حول فتحة التصريف، فيسلك مساراً منحنيّاً مثل مسار الضوء المارّ بالقرب من نجم. وفي الحقيقة، يمكن توصيف هذه الظاهرة الصوتية باستخدام الأدوات الرياضياتية الهندسية للنسبية العامة. ويمكن لجريان مائع أن يؤثّر في الصوت كما يؤثّر الثقب الأسود في الضوء. وهناك طريقة لتكوين مثل هذا الثقب الأسود الصوتي وهي استخدام جهاز يدعوه المهندسون الماتيون باسم «نفث لافال»^(*). وقد صمّم هذا المنفث بحيث تصل سرعة المائع في نقطة التضيق الأشدّ سرعة الصوت في المائع وتتجاوزها من دون أن تكوّن موجة صدم^(*)

التقييد هو ما يجعل النموذج التشابهي مهما لدرجة كبيرة، لأنه يسمح للفيزيائيين بدراسة ما ينجم ماكروياً عن البنية الميكروية. ومع ذلك، ولكي يكون التشابه مفيداً فعلاً، عليه أن يكون صالحاً على المستوى الكمومي كذلك. وبشكل عام، تمنع الاهتزازات الحرارية للجزيئات الموجات الصوتية من أن تسلك سلوك كموم quanta الضوء، ولكن عندما تقترب درجة الحرارة من الصفر المطلق يمكن للصوت أن يسلك سلوك جسيمات كمومية يدعوها الفيزيائيون باسم «الفونونات» تأكيداً لتشابهها مع جسيمات الضوء «الفوتونات». ويلاحظ الفيزيائيون التجريبيون الفونونات مراراً في البلّورات وفي المواد التي تبقى مائعة في درجات الحرارة المنخفضة مثل الهليوم السائل.

يشبه سلوك الفونونات في مائع ساكن أو متحرك بهركة منتظمة سلوك الفوتونات في زمان مستو حيث الثقالة غائبة، وتنتشر مثل هذه الفونونات في خطوط مستقيمة محافظة على قيم طولها الموجي وتواترها

Black Hole Analogue (+)
Atomism (+)
Laval nozzle (+)
shock wave (+)

عندما يصبح هذا الأخير صغيراً من مرتبة المسافة الفاصلة بين الجزيئات.

يمكن ظهور ثلاثة أنماط سلوكية مختلفة لعلاقات التشبث، لا يتضمن النمط I أي تشبث، أي إن الموجات ذات الأطوال الموجية القصيرة تسلك سلوك الموجات الطويلة نفسها. أما في النمط II فإن سرعة الانتشار تنقص عندما يصغر الطول الموجي، في حين تزداد هذه السرعة في النمط III بنقصان الطول الموجي. يصف النمط I الفوتونات في النظرية النسبية، في حين يصف النمط II الفوتونات في الهليوم الميوعة مثلاً، أما النمط III فيصف الفوتونات في ممتكثات «بور-آينشتاين» المخففة. يُعتبر هذا التصنيف إلى ثلاثة أنماط مبدأً تنظيمياً يسمح بمعرفة كيفية تأثير البنية الجزيئية في الصوت ماكروياً. ومنذ بداية عام 1995، قام «أونره» وباحثون آخرون بدراسة مفعول هوكنك بوجود علاقة تشبث من النمط II أو النمط III.

لنرى كيف تبدو الفوتونات، على طريقة هوكنك، وذلك عندما ننظر إليها كما كانت في ماضي الزمن، في البداية، لا يؤثر نمط علاقة التشبث في سلوك الفوتونات، فتسبغ هذه باتجاه التيار نحو الأفق وطولها الموجي يتناقص أثناء ذلك. ويصبح نمط علاقة التشبث مهماً عندما يقترب الطول الموجي من مرتبة المسافة الفاصلة بين الجزيئات. في النمط II، تبدأ الفوتونات بالتباطؤ ثم تعكس جهة سيرها وتبدأ بالجريان ضد التيار، أما في النمط III، فإنها تتسارع لتبلغ سرعة أكبر من سرعة انتشار الصوت الموافقة للأطوال الموجية الكبيرة ثم تجتاز الأفق.

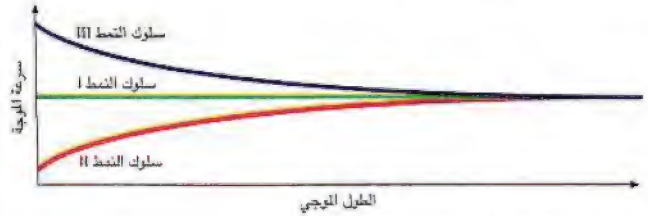
عودة إلى الأثير^(١)

إن مشابهة حقيقياً لمفعول «هوكنك» يجب أن يحقق شرطاً مهماً، وهو ضرورة أن تبدأ الأزواج الافتراضية للفوتونات حياتها في الحالة الأساسية، كما هي الحال بالنسبة إلى أزواج الفوتونات الافتراضية حول الثقوب الأسود. ويمكن تحقيق مثل هذا الشرط بسهولة في مائع حقيقي. وطالما كان تغير تدفق المائع الماكروي بطيئاً في الزمن وفي المكان (مقارنة بمعدل تواتر الأحداث على المستوى الجزيئي)، فإن الحالة الجزيئية للمائع تتعدل باستمرار من أجل تخفيض

Hawking Was Right, But... (١)
Ether Redux (٢)
dispersion relation (٣)

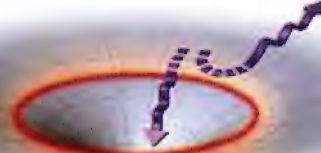
لقد كان هوكنك على حق، ولكن ...^(١)

توحي لنا النماذج المماثلة للثقوب السوداء بطريقة لتصحيح الخلل في تحليل هوكنك. في مائع مثالي، تكون سرعة الصوت ثابتة مهما يكن الطول الموجي (وهذا يسمى سلوك النمط I). وفي مائع حقيقي، تتناقص سرعة انتشار الصوت (النمط II) أو تزداد (النمط III) مع تناقص الطول الموجي واقتاربه من قيمة المسافة الفاصلة بين الجزيئات.

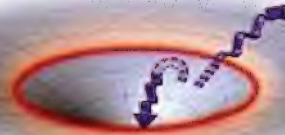


يرتكز تحليل هوكنك على النظرية النسبية المعهودة، حيث يسير الضوء بسرعة ثابتة (سلوك النمط I). وإذا تغيرت سرعة الضوء، مع تغير الطول الموجي، كما في النماذج المماثلة، فقد تغيرت مسارات فوتونات هوكنك.

من أجل النمط II، تُخلق الفوتونات خارج الأفق وتسقط للداخل. واحدٌ منها سيغير اتجاهه في سرعته ثم يعكس اتجاهه وينطلق خارجاً.



من أجل النمط III، تنشأ الفوتونات داخل الأفق. يتسارع أحدها متجاوزاً سرعة الضوء الاعتيادية مما يسمح له بالإفلات.



لما كانت الفوتونات لا تنشأ عند الأفق بالضبط، فإنها لن تتعرض لانزياح لانهاضي نحو الأحمر. ولهذا التصحيح لتحليل هوكنك ثمن وهو وجوب إدخال تعديلات على النظرية النسبية. فخلقاً لفرضيات «آينشتاين»، يجب على الزمكان أن يسلك سلوك مائع مكون من «جزيئات» من طبيعة غير معروفة.

يمكن تضمين مجمل التفاصيل الأساسية للبنية الجزيئية في الطريقة التي يعتمد بها تواتر الموجة الصوتية على طولها الموجي. وعلاقة الاعتماد هذه تسمى علاقة التشبث^(٣)، وهي تصدّر سرعة انتشار الموجة. وهذه السرعة ثابتة من أجل أطوال موجية كبيرة، بينما يمكن لها أن تتغير مع طول الموجة

معالجتهم هذه المسألة دراسةً إمكانية تحقيق تقدم رياضيائي. يُعد فهم كيفية تأثير البنية الجزيئية للمائع في الفوتونات بالغ التعقيد. ولحسن الحظ، وبعد عشر سنوات من اقتراح «أونره» لنموذج المشابه الصوتي، أتى أحدها (جياكوبسون) بفكرة مبسطة مفيدة جداً.

طاقة المنظومة ككل. وليس مهما هنا طبيعة جزيئات المائع المكونة له.

يمكن الجرماني على أنه عند تحقيق هذا الشرط فإن المائع سيصدر إشعاعاً على طريقة هوكينج بصرف النظر عن أي نوع من علاقات التشبّه الثلاث التي يخضع لها المائع. ولن يكون هنا للتفاصيل الميكروية للمائع أي أثر في هذه النتيجة، إذ إن أهميتها تزول تماماً عند انطلاق الفونونات بعيداً عن الأفق. إضافة إلى ذلك، فإن الأطوال الموجية الكيفية القصيرة التي يستند عليها تحليل هوكينج في عمله الأصلي، لا تظهر عندما تكون علاقة التشبّه من أحد النمطين II أو III. وبدلاً من ذلك، فإن الأطوار الموجية تتناقص إلى حدودها الدنيا عند المسافة الفاصلة بين الجزيئات، وليس الانزياح نحو الأحمر اللامتناهي إلا تجسيدا خاطئاً للفرضية غير الفيزيائية عن الذرات المتناهية في الصغر.

وعند تطبيقه على ثقوب سوداء حقيقية، فإن التشابه المائع يضفي ثقة بأن نتيجة «هوكينج» صحيحة على الرغم من الفرضيات التبسيطية التي أخذ بها. إضافة إلى ذلك، يوحى هذا التشابه لبعض الباحثين بأنه يمكن تجنب الانزياح اللامتناهي نحو الأحمر عند أفق ثقب أسود ثقالي^(١١) وذلك بتشتيت أطوال موجية قصيرة للضوء، مثلاً يحدث في حالة المائع، إلا أن هناك شركاً مخفياً هنا. فالتنظير النسبية تؤكد بصورة قاطعة أن الضوء لا يعاني أي تشبّه في الفراغ. والطول الموجي للفوتون يبدو مختلفاً بالنسبة إلى مراقبين مختلفين؛ فهو لامتناه في الكبر عندما يرى من جملة مرجعية متحركة بسرعة قريبة جداً من سرعة الضوء. لذلك، لا يمكن لقوانين الفيزياء أن تحدد لنا حداً ثابتاً للطول الموجي القصير، الذي يتغير عنده نوع علاقة التشبّه من النمط I إلى النمط II أو III. فكل مراقب قيمة خاصة به لذلك الحد.

إذاً يواجه الفيزيائيون معضلة، فإما أن يحافظوا على ما حتم عليه «اينشتاين» وهو عدم وجود جملة مرجعية مميزة. ويقبلوا في الوقت نفسه بحقيقة الانزياح اللامتناهي نحو الأحمر، أو أن يفترضوا أن الفوتونات لا تعاني انزياحاً لامتناهياً نحو الأحمر، وعليهم في هذه الحالة أن يقبلوا بوجود جملة مرجعية للمراقبة مميزة. هل سنتنكك جملة مرجعية كهذه مبدأً النسبية؟ لا أحد يعرف إلى الآن الإجابة عن

هذا السؤال. قد يكون من الممكن أن ننظر إلى هذا المرجع^(١٢) المفضل كأثير محلي يظهر فقط قرب آفاق الثقوب السوداء. وفي هذه الحالة تبقى النظرية النسبية صالحة بشكل عام. ومن ناحية أخرى، قد يوجد هذا المرجع المفضل في كل مكان وليس فقط قرب الثقوب السوداء، وفي هذه الحالة ستكون النظرية النسبية تقريباً لنظرية أعمق عن الطبيعة. لم يلاحظ التجريبيون إلى الآن مثل هذا المرجع المفضل، ولكن هذه النتيجة السلبية قد تكون ببساطة ناجمة عن افتقار التجارب للدقة الكافية.

لقد خامر الفيزيائيين منذ زمن طويل الشعور بأن التوفيق بين النسبية العامة والميكانيك الكمومي سيُدخل حداً خاصاً بالمسافات الصغيرة، وقد يكون هذا الحد ذا صلة بمقياس بلانك. ويدعم التشابه الصوتي هذا الشعور بأن الزمكان بنية حبيبية نوعاً ما، لكي يُلغى ذلك من أثر الانزياح اللامتناهي نحو الأحمر المرص.

إذا كان الأمر كذلك لكان التشابه بين انتشار الصوت وانتشار الضوء أفضل حتى عما ظن به أولاً «أورده». وقد يقودنا التوحيد بين النسبية العامة والميكانيك الكمومي إلى تخليّننا عن ذلك التصوّر المثالي لمكان وزمان.

مستمرّين ومُتّصلين، كما يقودنا إلى اكتشاف «ذرات» الزمكان. ومن الممكن أن تكون أفكار مشابهة قد راودت «اينشتاين» عند كتابته رسالة لصديقه العزيز^(١٣) «بيسو» عام 1954، وذلك قبل وفاته بسنة، إذ قال: «أعتبر أنه من الممكن تماماً استحالة بناء الفيزياء على أساس مفهوم الحقل field، أي على أساس بنية متصلة». ولكن هذا الأمر سيقتلع الانس الراسخة التي تقوم عليها فيزياء اليوم، وليس لدى العلماء في الوقت الحاضر نظرية واضحة يمكن ترسيخها لتكون بديلاً. وفي الواقع، يضئف «اينشتاين»: «وعندها لن يبقى شيء في الهواء من قلعة إسهاماتي النظرية، بما في ذلك نظرية التناقل، والأمر سيان بالنسبة إلى ما تبقى من الفيزياء الحديثة». لكن لا تزال القلعة صامدة بعد مرور خمسين سنة على كتابة هذه الرسالة، مع أن مستقبلها ليس واضحاً. ومن الممكن أن تكون الثقوب السوداء أو مشابهاًتها الصوتية قد بدأت بإتارة الطريق وسبر غوره.

(١١) أو جملة مرجعية reference frame.

المؤلفان

Theodore A. Jacobson - Renaud Parentani

يديران لغار الثقالة الكمومية وتناجها القابلة للملاحظة في فيزياء الثقوب السوداء والكوسمولوجيا (علم الكون). جاكوبسون هو أستاذ الفيزياء بجامعة ماريلاند وتتركز أبحاثه الحديثة على ترموديناميك الثقوب السوداء، ودراسة إمكانية كون الزمكان ذا بنية منفصلة على المستوى الميكروي، وفيما إذا كان من المستطاع اكتشاف هذه البنية الدقيقة ماكروياً. أما بارنتاني فهو أستاذ الفيزياء بجامعة باريس الجنوبية في أورسي، ويعمل في مختبر الفيزياء النظرية التابع للمركز الوطني للأبحاث العلمية في فرنسا (CNRS). وتتركز أبحاثه على دور التفاعلات والتموجات الكمومية في فيزياء الثقوب السوداء والكوسمولوجيا. وهذه المقالة هي ترجمة وتحديث لقالة كتبها «بارنتاني» ونشرت في عدد الشهر 5 (2005) في مجلة Pour la Science، النسخة الفرنسية لجملة سايينتيك أمريكان، وهي إحدى أخوات العلوم.

مراجع للاستزادة

Trans-Planckian Redshifts and the Substance of the Space-Time River. Ted Jacobson in *Progress of Theoretical Physics Supplement*, No. 136, pages 1-17; 1999. Available [free registration] at <http://ptp.ipap.jp/cgi-bin/getarticle?magazine=PTPS&volume=136&number=8&page=1-17>

What Did We Learn from Studying Acoustic Black Holes? Renaud Parentani in *International Journal of Modern Physics A*, Vol. 17, No. 20, pages 2721-2726; August 10, 2002. Preprint available at <http://arxiv.org/abs/gr-qc/0204079>

Black-Hole Physics in an Electromagnetic Waveguide. Steven K. Blau in *Physics Today*, Vol. 50, No. 8, pages 19-20; August 2005.

For papers presented at the workshop on "Analog Models of General Relativity," see www.physics.wustl.edu/~vlaser/Analog/

حياة «كيم» بعد فيلم «رجل المطر»^(١)

يشكل العزف على البيانو أحدث مهارة اكتسبها «كيم»، وهي تزداد يوما بعد يوم على الرغم من ضعف التنسيق الحركي لديه. وتلتاح في هذه الصورة إلى جانبه المدرسة «د. كريتان» (جالسة) والدة، وكلاهما عمل على تشجيع جهود «كيم».

الخارقة بالناس الآخرين وتخفيف تأثيرات إعاقة. إن هذا الأمر ليس باليسيل السهل، لأن الإعاقة وقيودها تتطلب قدرا كبيرا من التفاني والصبر والعمل الشاق حسيما يبين بشكل مقنع والد «كيم» على سبيل المثال.

هذا ولسوف يمدنا المزيد من استكشاف متلازمة الذاكرة الخارقة باستبصارات وقصص علمية ذات اهتمام إنساني شاسع. ويقدم كيم بيك أدلة وافرة لكليهما.

(١) العنوان الأصلي: Life after Rain Man

train the talent (١)

high-resolution (١)

المؤلفان

Darold A. Treffert - Daniel D. Christenson

لطالما فتنتهما ظاهرة الذاكرات الخارقة. «تريفيرت» طبيب نفسياني في سكونسن، وقد أجرى منذ عام 1962 أبحاثا على الذاتوية (التوحد) autism ومتلازمة الذاكرة الخارقة، حيث قابل أول مرة أحد الذين يعانون هذا الاضطراب. وكان مستشارا لفيلم رجل المطر، وهو مؤلف كتاب «الناس الاستثنائيون: فهم متلازمة الذاكرة الخارقة». أما «كريستنس» فهو أستاذ عيادات الطب النفسي وأستاذ عيادات علم الأعصاب وأستاذ مشارك للفارماكولوجيا في كلية طب جامعة يوتا. ويركز بحثه على مرض الزهايمر، لكنه بعد «كيم بيك» انصرف لأكثر من عقدين إلى الاهتمام بمتلازمة الذاكرة الخارقة.

مراجع للاستزادة

The Real Rain Man. Fran Peek. Harkness Publishing Consultants, 1996. Extraordinary People: Understanding Savant Syndrome. Reprint edition. Darold A. Treffert. iUniverse, Inc., 2000.

Islands of Genius. Darold A. Treffert and Gregory L. Wallace in Scientific American, Vol. 286, No. 6, pages 76-85; June 2002. www.savantsyndrome.com, a Web site maintained by the Wisconsin Medical Society.

Scientific American, December 2005

ليس مستغربا أن تكون ذاكرة «كيم» الضخمة قد أسرت انتباه الكاتب «ب. سورو» (حين التقاه صدفة في عام 1984) والهمته أن يكتب سيناريو الفيلم السينمائي رجل المطر Rain Man، الذي أدى دور البطل فيه «د. هوشمان» تحت اسم «ريموند باييت» باعتباره يعاني «متلازمة الذاكرة الخارقة». إن هذا الفيلم السينمائي محض خيال علمي ولا يروي قصة حياة «كيم» ولو بالإجمال. ولكن في أحد مشاهد المستبصرة على نحو لافت يصيب «ريموند» الجنور التربيعية ذهنيا، ويقول أخوه «شارلي» في هذا الصدد: «إنه يجب أن يعمل لحساب ناسا NASA أو شيء من هذا القبيل». أما بالنسبة إلى «كيم» فإن مثل هذا التعاون قد يحدث فعلا.

أجل، فقد اقترحت الوكالة ناسا نموذجا تشريحيًا ثلاثي الأبعاد 3-D عالي الميز^(١) لبنيان دماغ «كيم». ويصف «د. بويل» [وهو مدير المركز NASA BioVis] هذا المشروع كجزء من جهد أكبر يستهدف دمج وترصيع بيانات صور تشكيلة واسعة من الأمعة قدر الإمكان، ولهذا السبب يعتبر دماغ «كيم» الاستثنائي ذا قيمة خاصة، وينبغي لهذه البيانات، سواء الوصفية منها أو الوظيفية، أن تمكن الباحثين من تحديد مواقع وماهية التغيرات الدماغية التي تصحب الفكر والسلوك. وتأمل ناسا أن يمكن هذا النموذج التفصيلي الباحثين من تحسين مقدرتهم على تأويل خرج output منظومات التصوير فوق الصوتي ultrasound الأقل كفاءة والتي تؤلف النوع الوحيد الذي يمكن حمله الآن إلى الفضاء واستخدامه لمراقبة رواد الفضاء.

لقد برهن نجاح تصوير فيلم رجل المطر Rain Man والأفلام السينمائية اللاحقة أنه نقطة تحول في حياة «كيم»: إذ إن هذا الأخير كان قبل ذلك اعتكافيا ينسحب إلى غرفة نومه حين يأتيه الأصحاب. لكنه بعد الثقة التي اكتسبها من اتصالاته مع صانعي الفيلم، وكذلك من الشهرة التي زوده بها النجاح السينمائي، استلهم ووالده «د. بيك» مشاركة مواهب «كيم» مع عديد من الحضور فأصبحوا رسل حماس لذوي الإعاقات، وبمرور السنوات شارك قسما ما يتوف على مليوني شخص إلى ستة ملايين.

إننا نعتقد أن لهذا التحول في حياة «كيم» قابلية تطبيق عامة. فالكثير مما يعرفه العلماء عن الصحة يتأتى من دراسة الأمراض pathologies، وسيأتي الكثير مما سنتعلمه حول الذاكرة العادية من دراسة الذاكرة الاستثنائية أو الفريدة. وفي الوقت نفسه، فإننا سنتوصل إلى بعض الاستنتاجات العملية لصالح رعاية أشخاص آخرين من ذوي الاحتياجات الخاصة الذين يمتلكون مهارة من مهارات متلازمة الذاكرة الخارقة. إننا نوصي بأن تعتمد الأسرة والجهات الأخرى المانحة للرعاية إلى «تدريب المهينة»^(٢)، بدلا من نبذ مثل هذه المهارات بوصفها سخيفة، وذلك من أجل ربط من تظهر لديه متلازمة الذاكرة

استدلال مضاد^(١)

هل أحد البروتينات الالتهابية هو الكولسترول القادم؟



رواسب دهنية (تشمعية) يطلق عليها اسم اللويحات (المنطقة المتصوجة ذات اللون البرتقالي)، تشكلت في الأوعية الدموية، كما تبدو في التصوير الطبقي المحوري المحوسب للشريان السباتي عند تفرعه إلى فرعين رئيسيين. قد تحفز هذه اللويحات على إنتاج البروتين المضاد c (CRP)، وهو أحد العوامل المحتملة لحدوث مرض قلبي.

تخفيض مستوى البروتين CRP يعادل على الأقل في أهميته تخفيض الكولسترول، كما تدعم الفكرة القائلة: إن البروتين CRP ليس مؤشرا طبيا لكشف عامل الالتهاب وحسب، وإنما هو عامل مسبب لمرض القلب. ويوافقه «نسن» الرأي قائلا: «يجب علينا مستقبلا أن نهاجم البروتين CRP بالقوة نفسها التي نهاجم بها الكولسترول». ويعتقد «ريدكر» أن الأشخاص الأصحاء الذين يتصفون بمستويات طبيعية من

الكولسترول (بنسبة 130 ملغ/ديسيلتر من الدم)، فيما تعلق لديهم مستويات البروتين CRP قد يستفيدون من تناول الستاتينات... وقد بدأ «ريدكر» فعلا بدراسة جديدة على 15 000 شخص لتحري هذه إمكانية.

وعلى الرغم من وجود هذه الأدلة القوية، يحذر بعض الخبراء، من أنه من المطلوب إجراء مزيد من الأبحاث لإثبات أن البروتين CRP يسبب تصلب الشرياني بشكل مباشر، أو أنه يجب تناول الستاتينات للسيطرة على البروتين CRP. يقول «D. سيسكوفيتش» [المدير المشارك لوحدة الأبحاث الصحية الخاصة بأمراض القلب والأوعية الدموية في كلية الطب بجامعة واشنطن]: «هذه الدراسات توحى لي بأن الأدوية التي تخفض كلاً من الكولسترول LDL والبروتين CRP، قد يكون لها تأثير علاجي أكبر من تلك التي تخفض الكولسترول LDL وحسب، إلا أن هذا لن يغير من الطريقة التي أعالج بها مرضاي». أما سبب ذلك فيعود إلى أن الستاتينات قد لا تخفض البروتين CRP بشكل مباشر، إنما قد تتدخل في مجرى المسار الالتهابي في الجسم، ومن ثم فإن تراجع الالتهاب ربما هو الذي يخفف من المخاطر القلبية الوعائية، وبهذا يكون البروتين CRP هو مجرد مؤشر إلى حدوث المرض القلبي وليس سببا فيه.

وفي الواقع، إن الآليات التي ترفع مستويات البروتين CRP ليست واضحة تماما، فكثير من العدوى (الأخماج) والأمراض المزمنة كالتهاب الفصائل الرئوي والسمنة والتدخين وارتفاع

إن تسكين (تهدئة) التهاب ما في الجسم يهدف مكافحة مرض القلب، ربما يكون بنفس أهمية تخفيض الكولسترول في الدم، وفقا لما ذكرته دراستان نُشرتا في الشهر 2005/1. ويرى بعض الخبراء، هذه النتائج على أنها دليل على ضرورة المبادرة بمراقبة، وربما معالجة، الالتهاب عند المرض القلبي، ولكن البعض الآخر لم يقتنع حتى الآن بأن هذا الإجراء قد يميل من أعمار هؤلاء المرضى.

وقد أصبح معروفا أن الالتهاب يؤدي دور وسيط أساسي في تصلب الشرايين؛ إذ إنه يلحق الأذى ببطانة جدرانها، كما يسهم في تشكيل اللويحات الدهنية (التشمعية) وتمزقها. ومنذ عام 1997 بدأ «P. ريدكر» [وهو طبيب قلب في مستشفى بريكهام] بملاحظة علاقة بين مرض القلب ومركب التهابي يطلق عليه اسم البروتين المضاد c (CRP) c-reactive protein. فإذا ما زاد مستوى البروتين CRP أكثر من 2ملغ/ليتر في الدم على سبيل المثال، أصبحت خطورة النوبات القلبية ثلاثة أمثال النسبة الطبيعية، وتضاعفت خطورة السكتات الدماغية.

وفي دراستين منفصلتين نشرتا بتأريخ 2005/1/6 بالمجلة *New England Journal of Medicine*، قام «ريدكر» و«D. نسن» [الذي يعمل في مستشفى كليفلاند] بدراسة نحو 4300 مريض يعانون مرضا قلبيا شديدا ويتناولون جرعات متوسطة أو عالية من عقارات الستاتين statin، بهدف تخفيض نسب الكولسترول لديهم. وتساءل الطبيبان لماذا أظهر بعض هؤلاء المرضى تحسنا أفضل من غيرهم، مع أن الجميع بلغوا النسبة المنخفضة نفسها من الكولسترول LDL (وهو الكولسترول الضار).

وبينما أكد «ريدكر» اكتشافاته الأولية في دراسته الثانية، وجد «نسن» أن هناك علاقة بين خفض مستويات البروتين CRP وتراجع تصلب الشرياني (تصبح اللويحات أصغر)، كما وجد، وهو الأهم، أن خفض البروتين CRP له تأثير مفيد ومستقل عن خفض الكولسترول LDL، مما يدل على أن الستاتينات تخفض من مستوى الكولسترول والبروتين CRP معا.

يقول «ريدكر» إن هذه التقارير توضح أن

الدهون المؤذية^(٢)

يرى بعض الباحثين أن مستويات البروتين المضاد c (CRP) ترتفع خلال تطور المرض القلبي، ويعود السبب في ذلك إلى الالتهاب الذي تحدثه اللويحات الدهنية (التشمعية) التي تتوضع على جدران الشرايين الإكليلية (التاجية). ولكن البعض الآخر غير مقتنع بأن هذه الرواسب الدقيقة يمكنها إنتاج الكثير من البروتين CRP. وبدلاً من ذلك اعتمدوا الفكرة القائلة بأن الأنسجة الدهنية، وخصوصاً تلك الموجودة حول الخصر، تعمل عمل عضو مسبب للالتهاب، حيث تقوم الخلايا البلية الكبيرة التي تغزو الأنسجة الدهنية بإرسال إشارات إلى الكبد لإنتاج المزيد من البروتين CRP. فإذا ما ثبت بالفعل أن الخلايا الدهنية تحفز على إنتاج البروتين CRP أكثر مما تحفز عليه اللويحات داخل الشرايين، عندها تكون المستويات العالية من البروتين CRP مؤشرا إلى عوامل خطورة متعلقة بالسمنة أكثر من علاقتها بالمرض القلبي بشكل مباشر.

دلالة إحصائية، لكنه في الواقع لا يضيف شيئا إلى قدرتنا على تمييز الخطورة، فعلى سبيل المثال، بإمكان الأطباء، بنسبة 80%، معرفة من سيصاب مستقبلا بمرض قلبي ومن سينجو منه عن طريق تقدير عوامل الخطورة التقليدية، مثل مستوى الكوليسترول والسمنة. وعندما يضاف عامل الـ *الهروتين CRP* إلى هذا المزيج، يردف «لويد-جونز» قائلا: «فإن هذه النسبة تزداد لتصل إلى 81%. قد تبدو هذه النسبة ذات دلالة إحصائية، ولكنها لا تساعدني كطبيب.»

إن وجهة نظر كهذه ستخيب - بلا شك - أمل مصنعي أدوية الستاتينات الذين مولوا الدراسات الأخيرة. ويضيف «لويد-جونز» «إن لقطار الـ *الهروتين CRP* هذا الكثير من الزخم، ولكن إذا ما أمعنا النظر فيه فلن نجد على المستوى الرفيع الذي يروج له.»

«D. مارتينديل»

الضغط الشرياني والداء السكري، ترفع جميعها مستوى الـ *الهروتين CRP*. وعندما يخفض أحدهم من وزنه ويمتنع عن التدخين ويضبط مستوى السكر في الدم ومستوى ضغط الدم الشرياني فإن مستويات الـ *الهروتين CRP* لديه تنخفض كذلك، وهذا يثبت أن الـ *الهروتين CRP* هو بمثابة مؤشر إلى وجود تلك المشكلات المترافقة مع الالتهاب.

والأهم من ذلك، أن بعض الخبراء، يشكون في فائدة الـ *الهروتين CRP* بالنسبة إلى تحري screening المرض في العيادة؛ هذا ما أشار إليه D. لويد-جونز [وهو طبيب قلب في جامعة نورث وسترن] قائلا: «إنه لا يساعدني على تحديد من المرضي معرض للخطر - من منهم علي أن أعالج أو لا أعالج.» ويعتقد «لويد-جونز» (وهو في ذات الوقت مختص في علم الأوبئة، وكان قد درس عوامل الخطورة في المرض القلبي بعمق) أن هناك تركيزا كبيرا على أن الـ *الهروتين CRP* يمكنه أن يشير إلى درجة خطورة نسبية ذات

الـ RNA (RNA) يهبط إلى الإنقاذ⁽¹⁾ طرز جديدة من التوريث تخل بقوانين مندل.



إن طفرة البتلات الملتحمة (في اليمين)، اختفت في الأنسال التي بدت سوية (في اليسار).

يرتكز المبدأ الأساسي في البيولوجيا المعاصرة على أن المعلومات الوراثية تُورث على شكل دنا DNA، ينسخ إلى رنا RNA، ويعبر عنه كبروتين، فالصدارة هي للدنا. بيد أن الاكتشاف المشير للإعجاب أن يوسع نوع من النباتات أن يستدعي جينات كان أباه قد فقدوها، يؤكد اعتراف البيولوجيين المتزايد بالـ RNA كجزء حيوي متعدد المهام.

لقد احتل الـ RNA فعلا مكانته الخاصة بين الجزيئات البيولوجية. فبوسعه اختزان المعلومات الوراثية، تماما كما يفعل الدنا. ولكنه يستطيع أيضا أن يتخذ أشكالا معقدة ثلاثية الأبعاد، وأن يحفز تفاعلات كيميائية، تحدث فيه ذاته، تماما كما تفعل الـ *الهروتينات*. ويقول «R. ريتان» [عالم الوراثة في جامعة كونيتيكت]: «إن الـ RNA هو دنا مضاف إليه ستيرويدات، فبوسعه أن ينجز تقريبا أي عمل كيميائي حيوي.» ويحتمل أن تكون الحياة قد بدأت بـ «عالم الـ RNA»، من حيث إن تسلسلات مُفسدة من جزيئات الـ RNA أنجزت عملين معا: عملت كـ قالب template جيني،

وكما كينة توالدية.

إن النبات *Arabidopsis thaliana* الذي ينتمي إلى فصيلة الخردل، قد يكشف عن طريقة أخرى، استثمرت فيها الحياة قدرة الـ RNA على الاختزان الوراثي. لقد درست «S. J. لول» و «R. E. برُييت» [من جامعة بيردو] نباتات ملتحمة البتلات تنتمي إلى النوع *Arabidopsis*. إن في مثل هذه النباتات نسختين طافرتين لجينة تدعى *thothead* (الرأس الساخن)، تختلف عن الجينة السوية بزوج واحد من القواعد bases. ومما يثير الاستغراب أن نسبة ضئيلة من أنسال نباتات

إعادة تكويد رتاوي^(١)

إن طريقة التوريث اللامندلية^(٢) التي اكتشفت في نبات *Arabidopsis* قد تكون مجرد مثال لمقدرة الرنا على إدخال تنوعات غير موجودة في دنا الكائن الحي. والمثال الآخر هو إعادة التكويد، حيث تبديل الخلية وحدة فرعية واحدة من جزيء الرنا، كانت قد انتسخت من الدنا، فينجم عن ذلك شكل بروتيني مختلف عن ذاك الذي تُعَيِّنه الجينة. ولقد وجد المختص بالوراثة «R. رينان» (من جامعة كونكتيكون) أن إعادة التكويد تعتمد كلياً على بنية ثلاثية الأبعاد لها شكل عقدة أو عروة، يشكلها جزيء الرنا، وليس على تسلسله. ويفترض «رينان» أن إعادة التكويد، التي لم تلاحظ حتى الآن إلا في بروتينات الخلايا العصبية، قد تقدم للكائنات الحية طريقة لتجريب تصاميم بروتينية جديدة، دون اللجوء إلى أحداث تغيير دائم في جينة حاسمة.

وعلى الرغم من ذلك، قد يمثل الرنا آلية ملائمة، ذلك أن الباحثين كشفوا النقاب عن طرق عديدة، بحور بوساطتها الرنا تعبير الدنا أو بنيته، كما أنه قد يفسر إنتاج جزيئات من الرنا لا تترجم إلى بروتينات، بطريقة مازال يكتشفها الغموض. إن أنواعاً كثيرة، تشمل نبات *Arabidopsis* والأرز والفأر والإنسان، تنسخ كميات مذهشة من الرنا بدءاً من شريطة الدنا الخطأ: أي الشريطة المقابلة لتلك التي تعيّن^(٣) البروتين. ويقول «D. إيكير» (عالم بيولوجيا النبات في معهد سولك للدراسات البيولوجية في لاهويا بكاليفورنيا): «لعل جزءاً من ذلك القالب مرده إلى تلك الشريطة». ويرى «إيكير» أن لدى النباتات كثيراً من الإنزيمات التي تستطيع أن تضاعف الرنا، إضافة إلى نظام لنقل المادة الكيميائية بين الخلايا. ويخمن فريق جامعة بيردو في أن أرشيفا منفصلاً قد يوفر حماية في الأيام العصيبة، كالجفاف الطويل، فيضع تحت تصرف النبات جينات كانت قد ساعدت أسلافه على البقاء. وقد يحمل بهذا المعنى بعض الشبه لخاصة غريبة أخرى، يتميز بها الرنا، وتعرف بإعادة التكويد (انظر الهامش في اليسار).

وتتضمن الخطوة التالية في تحديد مدى انتشار آثار هذه الظاهرة. وهناك حالات عصبية على التفسير من العودة للتلقائية لأمراض وراثية تظهر أيضاً لدى الإنسان، مع العلم بأن التواتر الطبيعي لمثل هذه الحوادث مازال غامضاً. وسيفاجاً «هرويت»، شأنه شأن باحثين آخرين، إذا ما اقتصرنا الآلية على النبات، ويقول: «يصعب الاعتقاد أن شيئاً ما له هذه العمومية سوف لا يستمر في كائنات حية أخرى.» ■
(JR. منكلم)

«لول» و«هرويت» الطافرة ارتدت فيها نسخة واحدة من الجينة مُتَّهَد ارتداداً عفوياً إلى النسخة السوية، مُصلِّحاً طفرتها الموضوعية. إن مجرد وقوع حادثة واحدة من هذا النمط أمر غير محتمل إحصائياً خارج المستعمرات البكتيرية ذات التوالد السريع. لقد استبعد الباحثان استبعاداً منهجياً التفسيرات الروتينية، كالنقل المتصالب لنبات طافر بنبات سوي، أو حدوث معدل من الطفر بالارتفاع، أو وجود نسخة أخرى خبيثة من الجينة مُتَّهَد.

أضف إلى ذلك، أن طوافر الجينة مُتَّهَد تحوي تغيرات في أقسام أخرى من دناها، توافقت كلها مع تسلسلات أجداد أو أجداد أجداد النباتات، ولكن ليس مع أبائنا. ويحيى هذا التوافق بأن نسخة مساندة من جينوم أسلاف النبات قد انتقلت بطريقة ما إلى النبات الطافر، وذلك كما أشار الباحثان في تقريرهما الذي نُشر في عدد 2005/3/24 من مجلة «نيتشر». فإذا ما صح ذلك، فإن هذه القفزة ستكون إخلالاً بالقواعد السوية لعلم الوراثة التي أرساها «كريكور مندل» عام 1865. ولأن الباحثين لم يتمكنوا من العثور على تسلسل دناوي يمكن أن يؤدي هذا الدور، فقد اقترحوا أن القالب المساند ليس سوى رنا ذي شريطة مزدوجة (يكون الرنا عادة ذا شريطة أحادية). وكما يقول «R. جوركسبن» (عالم النبات في جامعة أريزونا): «إن الرنا المزدوج الشريطة فعال (ساخن)، وهذا ضروري في تداخلات الرنا، وهي طريقة شائعة لتعطيل فعل الجينات. ولكن لا يوجد أيضاً سبب للاعتقاد بأنه ليس جزيئاً دناوياً، ولا للاعتقاد بأنه يجب أن يكون مزدوج الشريطة.»

لهب نادر^(١)

انفجار مكنتار^(٢) يحل بشكل جزئي لغز أشعة كاما.

لأشعة كاما استعصت حتى الآن على التعليل. وعلى الرغم من بُعد ذلك الانفجار عنا مسافة 50 000 سنة ضوئية، فقد كان أسطح حتى من القمر عندما يكون بديراً. لكن لم يره أحد حقاً، لأنه قُدِّف تقريباً كل طاقته الهائلة على شكل أشعة كاما الطاقية energetic التي غمرت المقراب Burst Alert Telescope المحمول على المساتل سويغت Swift الذي أطلقته الوكالة «ناسا» للدوران في مسار حول الأرض قبل رصد

كان أسطح انفجار كوني رُصد حتى الآن، ومازال الفلكيون يجرون نقاشات حامية الوطيس حول منشئه وتناجه. لكن اللهب الضخم لهذا الانفجار، الذي رُصد في 2004/12/27، والذي ولَّه نجم غريب في مجرتنا، درب التبانة، يوفر حلاً جزئياً للغز في الفيزياء الفلكية عمره عشر سنوات. فقد تكون مثل هذه الانفجارات الهائلة، التي تحدث في مجرات بعيدة، هي المسؤولة، على الأقل، عن جزء من مجموعة خاصة من انبثاقات

RNA Recoded (+)
specifies (1)
(1) أي لا تتبع قانون مندل في انتقال الصفات الوراثية.

RARE FLARE (+)
magnetar (1): (انظر في هذا العدد: «المكنتارات: نجوم فائقة المغنطيسية».)



يمثل هذا الرسم، الذي أبدعه خيال فنان، اللهب الناجم عن انفجار 2004/12/27، وهو اسطع انفجار شوهد حتى الآن. اللهب منتشر من النجم SGR 1806-20.

انفجار أعظم نوعاً ما^(١)

حدث انفجار 2004/12/27 - وهو أعظم انفجار رُصد حتى الآن - في نجم نيوتروني قريب نسبياً، وهو جُلة نجم صغير فائق الكثافة. ولهذا النجم، الذي يسمى SGR 1806-20، حقل مغنطيسي أقوى من حقل الأرض المغنطيسي بكوادريليون (10¹⁵) مرة، وهذا يجعله قادراً على أن يبثّ ملفاتٍ سيّارة من جيّك لو كان بُعدُ عنا بقدر بُعد القمر عن الأرض. والأكثر احتمالاً أن هذا الانفجار نتيجة لزلزالٍ نجمي غير فجأة ترتيب الحقل المغنطيسي للنجم. وقد يتكرر هذا ثانية لأن الانفجار لم يدمر النجم.

A Pretty Big Bang (١٠)

على سبيل التّكهن: «من المحتمل ألا يكون هذا العدد بعيداً أكثر من 20 ضعفاً له، وهذا شيء جيد إلى حد ما في مثل هذه المهنة.»

وفيما يتعلّق بسبب الانبثاقات القصيرة الأمد الأخرى لأشعة كاما، تقول < كوفيليتو > [من مركز مارشال الفضائي التابع للوكالة ناسا] إن أقوى تفسير لها هو أنها نتيجة اندماج نجمين نيوترونيين كل منهما يدور حول الآخر. لكن < بالمر > يقول: «إن حادث 2004/12/27 جعلنا نؤكّد الآن أن اندماجات النجوم النيوترونية ليست مسؤولة عن

جميع الانبثاقات القصيرة الأمد لأشعة كاما. أما كونها مسؤولة عن أي من هذه الانبثاقات، فهذه مسألة لاتزال مفتوحة للبحث.» ويوافق < ويجرز > على أنه مازال من غير الواضح أن اندماجات النجوم النيوترونية تولّد هذا النوع من انبثاقات أشعة كاما.

ومع ذلك، فمن المحتمل أن تُحلّ هذه المسألة قريباً. ويتوقع الفلكيون أن الساتل سويغت، الذي استكمل أدائه في أوائل الشهر 2005/4، سيحدّد بدقّة المواقع السماوية لعدد من الانبثاقات القصيرة الأمد والمسافات التي تفصلها عنا. وهذا يجعل بمقدور العلماء البدء بمعالجة هذه الظواهر المهمة. أما < بالمر > فهو متفائل، ويعبّر عن شعوره هذا بقوله: «ربما سلط الانبثاق التالي لأشعة كاما الضوء على هذه الظواهر.»

< G> شيلينك<

اللهب بخمسة أسابيع فقط. ويعلّق < R> ويجرز< [المختص في انبثاقات أشعة كاما بجامعة أمستردام في هولندا] على هذا الانفجار بقوله: «لقد كان حدثاً مذهلاً.»

بعد سماع نبأ الانفجار الضخم، لعت في رأس < D> بالمر< [من مختبر لوس الأموس الوطني وأحد علماء الساتل سويغت] فكرة مؤداها أنه لو حدث لهب ضخم مشابه في مجرة بعيدة، لتعّدّ تمييز هذا اللهب ممّا يُسمّى انبثاق أشعة كاما القصير الأمد، الذي يدوم أقل من ثائتين أو نحو ذلك. وهذه الانبثاقات القصيرة الأمد مختلفة تماماً عن انبثاقات أشعة كاما الطويلة الأمد، التي تدوم من بضع ثوانٍ إلى عدة دقائق. ويعتقد الفلكيون أن الانبثاقات الطويلة الأمد لأشعة كاما، التي اكتُشفت جميعاً حتى الآن في المجرات البعيدة تشير إلى الانفجار الكارثي الختامي لنجوم ذات كتل فائقة تدوم بسرعة. بيد أن هذه الآلية المقترحة ربما لا تنطبق على الانبثاقات القصيرة الأمد لأشعة كاما.

قام < بالمر > بتطوير فكرته واكتشف أن السنة اللهب الهائلة تقدّم تعليلاً جزئياً على الأقل للانبثاقات القصيرة الأمد لأشعة كاما. وفي تحليل سيُنشر في المجلة Nature، يستنتج < بالمر > وزملاؤه أن من المحتمل جداً لتلّيل بضعة أجزاء في المئة على الأقل من الانبثاقات القصيرة الأمد بهذه الطريقة. واستناداً إلى السطوع المرصود والتردد المتوقّع لهذه الألسنة العملاقة من اللهب، فإن هذه الأحداث التي يجري بضع عشرات منها سنوياً، ستترك في مجرات أخرى قريبة نسبياً. ومع أن هذا القدر من الأحداث لا يكفي لتفسير جميع الانبثاقات القصيرة الأمد لأشعة كاما، فإن < بالمر > يرى أن «خمسة في المئة تقريب جيد.» وهو يقول

احترقَ مرتين^(٢)

حين يتقدّم وقود نجم هرم، فإنه يتمدد ليصبح عملاقاً أحمر، ثم ينهار متحولاً إلى قزم أبيض. ومن الممكن أن تجتاز بعض الأقزام البيض مرحلة ثانية تتحول فيها إلى عملاقة حمراء. لأن الانهيار يضغط الوقود المتبقي ويسخنه، لكن علماء الفيزياء الفلكية توقعوا احتمال استمرار مرحلة العملاق الأحمر الثانية بضعة قرون. وقد أبدى قزم أبيض اشتعل ثانية عام 1996 علامات على أنه سخن مرة أخرى، وهذه إشارة إلى أنه مرّ بمرحلة العملاق

الأحمر الباردة. وقد بينت قياسات أجريت بالمقاريب الراديوية للنجم المعروف باسم جسم ساكوراوي^(١)، أو V4334 Sgr، وجود جيّشان لغازات تتأين حول النجم، وهذه ظاهرة تتطلب أن تكون درجة حرارته ارتفعت قليلاً منذ أواخر التسعينيات من القرن العشرين. وربما كان هذا التحول السريع نتيجة امتزاج الأجزاء الداخلية من القزم امتزاجاً ضعيفاً، وهذا يدفع النجم إلى إحراق الوقود القريب من سطحه فقط، ومن ثم إلى نفاد هذا الوقود - وهذه فرضية قدمها الباحثون في جامعة مانشستر ونشروها في مجلة Science بتاريخ 2005/4/8.

< JR> مينكل<

TWICE BURNED (١٠)
Sakurai's object (١١)